

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención de título de:

INGENIEROS AMBIENTALES

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS CON EL USO
DE MICROORGANISMOS COMERCIALES MARCA AC MICRO PARA LA
DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE INGRESAN AL REACTOR
BIOLÓGICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA
PÚBLICA METROPOLITANA DE RASTRO QUITO**

AUTORES:

CAIZA REMACHE STALIN MAURICIO

LOACHAMÍN ASIMBAYA CHRISTIAN JAVIER

TUTOR:

BORJA VELA XIMENA DEL ROCÍO

Quito, enero del 2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Stalin Mauricio Caiza Remache con documento de identificación N° 175034901-9 y Christian Javier Loachamín Asimbaya con documento de identificación N° 172299169-0 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS CON EL USO DE MICROORGANISMOS COMERCIALES MARCA AC MICRO PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE INGRESAN AL REACTOR BIOLÓGICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE RASTRO QUITO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra anteriormente citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Stalin Mauricio Caiza Remache

175034901-9

Quito, enero del 2022

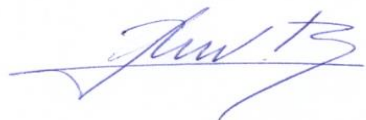
Christian Javier Loachamín Asimbaya

172299169-0

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS CON EL USO DE MICROORGANISMOS COMERCIALES MARCA AC MICRO PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES QUE INGRESAN AL REACTOR BIOLÓGICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE RASTRO QUITO realizado por Stalin Mauricio Caiza Remache y Christian Javier Loachamín Asimbaya, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2022



Ximena del Rocío Borja Vela

1711223584

AGRADECIMIENTO

En este camino de mi formación profesional, primero quiero agradecer a Dios, quien me ha fortalecido en los momentos más difíciles, quien me ha levantado cuando el mundo se venía abajo y siempre ha estado ahí en todo momento para poder cumplir mis metas y objetivos propuestos, también doy gracias a todas aquellas personas que formaron parte de este camino, en especial a mi hermosa madre quien siempre confió en mí, como ella siempre me ha dicho no te puedo apoyar con dinero pero si con lo más grande que es el amor de madre y el apoyo moral en toda mi vida académica. Mi gratificación también a mi hermano Byron Caiza y a mi padre Ramón Caiza quien sin su apoyo incondicional nada de esto se habría logrado ya que siempre me apoyaron en todo momento y ahora se ven los frutos de tanto sacrificio hecho por ellos.

A mi familia por estar siempre pendiente y brindarme el apoyo y palabras de aliento para poder culminar este proceso.

No quiero dejar de mencionar, aquellos compañeros y futuros colegas por todas las alegrías y experiencias vividas durante nuestra formación académica, mil gracias a los mijines José Luis, Jonathan, Josué, Andrés, Cristian, los Bryans y a mi mejor amigo Jaime quien con su apoyo moral en los últimos semestres no estaría cumpliendo este objetivo.

Stalin Mauricio Caiza Remache.

Agradezco a Dios, que ha iluminado mi camino durante todo este viaje, sabiendo poner obstáculos los cuales he tenido que superar, convirtiéndose en importantísimas experiencias que son importantes en esta vida.

Durante mi formación académica, doy gracias a todas aquellas personas que me dieron su apoyo, en especial a mi padre Vinicio Loachamín y madre Margarita Asimbaya quienes siempre me dieron fuerzas para poder continuar en los momentos más difíciles. También agradezco a mi hermano Lenin Loachamín, a mi tía Adriana Loachamín, a mi prima Dacini Ocampo, quienes supieron dar sus consejos cuando más los necesitaba. En especial agradezco a mi empresa Environwish que se convirtió en una de las más grandes motivaciones para conseguir objetivos más grandes. Sobre todo, a agradecer a mi novia Nancy Flores que me ayudó en los momentos cuando todos los demás me dieron la espalda, gracias por tu amor, paciencia, comprensión y sobre todo tu apoyo incondicional.

No quiero dejar de mencionar, a mi compañera Cynthia Arias que me acompañó durante la mayor parte de la carrera y también supo apoyarme en los momentos que los necesitaba como sabia consejera y sobre todo como una verdadera amiga.

Christian Javier Loachamín Asimbaya.

Agradecemos también, a nuestra tutora de tesis la Ing. Ximena Borja, quien supo darnos las pautas para continuar con todo el proceso, brindándonos siempre sus conocimientos, paciencia y dirección en todo el desarrollo de este estudio.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a cada uno de los docentes que han sido parte de nuestra vida universitaria, gracias por cada aporte brindado.

Stalin Caiza y Christian Loachamín.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xix
SUMMARY	xxi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Delimitación.....	2
1.2.1. Delimitación geográfica.....	2
1.2.2. Delimitación temporal.....	3
1.2.3. Delimitación sectorial e institucional.....	4
1.3. Pregunta de investigación.....	4
1.4. Objetivos general y específicos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. Contaminación del agua.....	6
2.2. Aguas residuales.....	7
2.2.1. Aguas residuales industriales.....	7
2.2.2. Aguas industriales.....	8

2.2.3.	Aguas residuales de mataderos	8
2.2.4.	Características de las aguas residuales.....	9
2.3.	Fundamentación del tratamiento biológico de las aguas residuales.....	15
2.3.1.	Proceso biológico de lodos activos	16
2.3.2.	El papel de los microorganismos	24
2.3.3.	Coctel de bacterias.....	28
2.3.4.	Microorganismos de la marca AC-MICRO	29
2.4.	Camal Metropolitano de Quito.....	30
2.4.2.	Procesos Unitarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Metropolitano de Quito (PTAR-CMQ)	37
2.5.	Normativa legal ambiental de descargas hídricas en el Ecuador	45
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1.	Muestreo en campo	46
3.1.1.	Transporte de las muestras.....	48
3.2.	Análisis en laboratorio	49
3.2.1.	Métodos.....	51
3.3.	Acondicionamiento de las bacterias	55
3.4.	Inoculación bacteriana al reactor biológico	59
3.5.	Identificación de los microorganismos en el coctel bacteriano.....	60
3.6.	Eficiencia de remoción.....	61

3.7.	Estudio de sostenibilidad económico del tratamiento biológico	63
3.6.1	Cálculo de volumen de agua residual del reactor biológico	63
3.6.2	Cálculo de costo de agua a tratar	63
3.6.1	Costo anual de inoculación de microorganismos AC-MICRO.....	64
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1.	Resultados del estado inicial del reactor biológico	65
4.2.	Identificación y recuento de los microorganismos del coctel bacteriano.....	82
4.3.	Resultados del estado del reactor biológico después de la inoculación	83
4.4.	Análisis estadístico de los porcentajes de remoción antes y después de la Aplicación de los microorganismos	98
4.5.	Estudio de sostenibilidad económico del tratamiento biológico	112
3.6.1	Cálculo de volumen de agua residual del reactor biológico	114
3.6.1	Cálculo de costo de agua a tratar	114
3.6.1	Costo anual de inoculación de microorganismos AC-MICRO.....	114
4.6.	Determinar si los resultados de salida de las muestras antes y después de la aplicación de los microorganismos cumplen con la legislación ambiental.	114
4.7.	Discusión.....	118
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
5.1.	Conclusiones	123
5.2.	Recomendaciones.....	125

6. BIBLIOGRAFÍA	126
7. ANEXOS	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Notación empleada referente al caudal (m ³).....	18
Tabla 2 Notación empleada referente a la materia orgánica (mg DBO/L)	18
Tabla 3 Notación empleada referente a la biomasa (mg SSV/L).....	19
Tabla 4 Composición de los microorganismos de la marca AC-MICRO.....	30
Tabla 5 Materiales para el proceso de muestreo en campo.....	47
Tabla 6 Métodos, equipos y materiales de los análisis físicos y químicos	50
Tabla 7 Relaciones entre el IVL y las características de sedimentación de los lodos activados .	54
Tabla 8 Materiales y equipo para el acondicionamiento de las bacterias	56
Tabla 9 Mezcla de componentes en pecera.....	57
Tabla 10 Mezcla de componentes en un vaso de precipitación de 1000 mL.....	58
Tabla 11 Mezcla de componentes en un bidón de 20 L.....	59
Tabla 12 Descripción de la mezcla de componentes inoculados	60
Tabla 13 Resultados de pH de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación	66
Tabla 14 Resultados de turbidez de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación	67
Tabla 15 Resultados de OD de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación	68
Tabla 16 Resultados de fosfatos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación	69
Tabla 17 Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual de día 14 de mayo de 2021	70

Tabla 18 Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual de día 20 de mayo de 2021	70
Tabla 19 Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual de día 21 de mayo de 2021	71
Tabla 20 Valores de OD mediante método Winkler de la muestra de agua residual de día 21 de mayo de 2021	71
Tabla 21 Resultados de DBO ₅ de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción.	72
Tabla 22 Resultados de DQO de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción.....	73
Tabla 23 Resultados de nitratos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción.	74
Tabla 24 Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 14 de mayo, antes de ser inoculadas	75
Tabla 25 Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 20 de mayo, antes de ser inoculadas	76
Tabla 26 Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 21 de mayo, antes de ser inoculadas	77
Tabla 27 Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 25 de mayo, antes de ser inoculadas	78
Tabla 28 Resultados de volumen sedimentado de lodos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico antes de la inoculación.....	79

Tabla 29 Resultados de IVL de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación	80
Tabla 30 Caracterización de compactación y sedimentación de los lodos de los resultados promediales de IVL antes de la inoculación.	81
Tabla 31 Resultados de pH de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.....	83
Tabla 32 Resultados de OD de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.....	84
Tabla 33 Resultados de turbidez de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación	85
Tabla 34 Resultados de DQO de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.....	86
Tabla 35 Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 15 de junio de 2021	87
Tabla 36 Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 21 de junio de 2021	87
Tabla 37 Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 22 de junio de 2021	88
Tabla 38 Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 23 de junio de 2021	88
Tabla 39 Resultados de DBO ₅ de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación	89

Tabla 40 Resultados de nitratos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación	90
Tabla 41 Resultados de fosfatos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación	91
Tabla 42 Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 15 de junio, después de ser inoculadas	92
Tabla 43 Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 21 de junio, después de ser inoculadas	93
Tabla 44 Resultados de peso del filtro 105°C y sólidos suspendidos totales del día 22 de junio, después de ser inoculadas	93
Tabla 45 Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 23 de junio, después de ser inoculadas	94
Tabla 46 Resultados de volumen sedimentado de lodos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico después de la inoculación	95
Tabla 47 Resultados de IVL de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.....	96
Tabla 48 Caracterización de compactación y sedimentación de los lodos de los resultados promediales de IVL después de la inoculación.....	97
Tabla 49 Cantidad de horas durante inoculaciones.....	112
Tabla 50 Cumplimiento de lo LMP por parte de los valores de la muestras de la salida del reactor biológico antes y después de la inoculación	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Camal Metropolitano de Quito	3
Figura 2 Diseño del sistema de fangos activados con sus respectivas variables	17
Figura 3 Esquema del proceso de faenamiento de bovinos	32
Figura 4 Esquema del proceso de faenamiento de ovinos	33
Figura 5 Esquema del proceso de faenamiento de porcinos	35
Figura 6 Diagrama de Procesos Unitarios de la PTAR-CMQ	37
Figura 7 Toma de muestras en el reactor biológico.....	48
Figura 8 Imagen en microscopio del microorganismo <i>Paramecium Caudatum</i>	82
Figura 9 Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de turbidez.....	100
Figura 10 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de OD despues de la inoculación	101
Figura 11 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de turbidez antes de la inoculación.....	101
Figura 12 Diagrama de caja de porcentaje de remoción de OD con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.....	102
Figura 13 Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de turbidez.....	103
Figura 14 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DQO después de la inoculación.....	103
Figura 15 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DQO antes de la inoculación	103
Figura 16 Diagrama de caja de porcentaje de remoción de DQO con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.....	104
Figura 17 Prueba de U Fligner-Killeen de los resultados de DQO.	105
Figura 18 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de nitratos después de la inoculación	105
Figura 19 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de nitratos antes de la inoculación.....	105

Figura 20 Diagrama de caja de porcentaje de remoción de nitratos con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.....	106
Figura 21 Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de nitratos	107
Figura 22 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de fosfatos después de la inoculación....	107
Figura 23 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de fosfatos antes de la inoculación	107
Figura 24 Diagrama de caja de porcentaje de remoción de fosfatos con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.....	108
Figura 25 Prueba de U Fligner-Killeen de los resultados de los fosfatos.....	109
Figura 26 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DBO ₅ después de la inoculación.....	109
Figura 27 Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DBO ₅ antes de la inoculación.....	109
Figura 28 Diagrama de caja de porcentaje de remoción de DBO ₅ con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.....	110
Figura 29 Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de DBO ₅	111

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Balance de masas	20
Ecuación 2 Sólidos suspendidos totales.....	53
Ecuación 3 Índice volumétrico de lodos	54
Ecuación 4 Demanda biológica de oxígeno	55
Ecuación 5 Porcentaje de remoción	61
Ecuación 6 Volumen mensual de agua a tratar	63
Ecuación 7 Costo por m ³ de agua tratada	63
Ecuación 8 Costo anual de inoculación de microorganismos AC-Micro	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Descripción de la bacteria <i>Paramecium Caudatum</i>	138
Anexo 2 Muestras entrada y salida de reactor biológico	139
Anexo 3 Análisis físicos y químicos de las muestras de agua residual del reactor biológico en el laboratorio.....	140
Anexo 4 Análisis físico del agua residuales del reactor biológico en la PTAR-CMQ.....	141
Anexo 5 Planta piloto de reactor biológico de mezcla completa y acondicionamiento de microorganismos.....	142
Anexo 6 Visualización e identificación de los microorganismos mediante un microscopio	143
Anexo 7 Inoculación de microorganismos	143
Anexo 8 Código de Shapiro Wilk de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de turbidez.....	144
Anexo 9 Código de Shapiro Wilk de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de OD, tomado del software R-Studio.....	144
Anexo 10 Código de Shapiro Wilk de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de DQO.....	145
Anexo 11 Código de Shapiro Wilk de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de nitratos.....	145
Anexo 12 Código de Shapiro Wilk de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de fosfatos.....	146
Anexo 13 Código de Shapiro Wilk de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de DBO ₅	146

RESUMEN

En el Camal Metropolitano de Quito se realiza procesos de faenamiento y se obtiene efluentes con altos niveles de contaminación por ende antes de su descarga al alcantarillado público se opta por depurarla en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Rastro. En el tratamiento secundario la presencia de microorganismos es importante; por ello esta investigación se basa en el uso de microorganismos de la marca AC-MICRO, el mismo que se mezcló con el lodo y otros componentes del tanque de homogenización en un contenedor y después entrar a un proceso de aclimatación con aireación continua durante ciclos de 24 horas y obtener el coctel de bacterias, en la que se visualizó la presencia de bacterias *Paramecium Caudatum*. Por consiguiente, se realizó 5 inoculaciones del coctel directamente en el reactor biológico.

Para evaluar la eficiencia de los microorganismos inoculados se tomó muestras puntuales del agua residual al ingreso como salida del reactor biológico tanto antes y después de la adición del coctel de bacterias. Mediante diversos métodos realizados en el laboratorio se obtuvieron los resultados de los parámetros de potencial de hidrógeno (pH), turbidez, oxígeno disuelto (OD), demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrato, fosfato e índice volumétrico de lodo (IVL), de todas las muestras.

En el análisis estadístico se utilizó las pruebas de Shapiro Wilk y Fligner-Killeen en el programa R-Studio y con los valores de porcentajes de remoción de los parámetros de turbidez, DBO₅, DQO, nitrato y fosfato, se determinó que al inocular aumentó los porcentajes de remoción de los parámetros de oxígeno disuelto, turbidez, DQO, nitrato y fosfato con valores de 69.66%, 73.23%, 75.34%, 25.08% y 39.69%, respectivamente, y se obtuvieron valores máximos de pH e IVL de 7.96 y 49,11 mL/g. Para obtener mayores valores de remoción a largo plazo se

planteó inocular 5 veces en un mes en la Planta, el costo por m³ de agua tratada fue de $0.009 \frac{\$}{m^3}$ mientras que el costo anual fue de $162 \frac{\$}{mes}$.

En el Acuerdo Ministerial N° 097-A del TULSMA y la Ordenanza municipal NT002 se detalla los límites máximos permitidos y se confirmó el cumplimiento en todas las muestras de los parámetros de OD, DBO₅, nitratos, fosfatos y SST.

Palabras clave: aguas residuales, proceso de faenamiento, porcentaje de remoción y análisis estadístico.

SUMMARY

At the Quito Metropolitan slaughterhouse, slaughtering processes are carried out and effluents with high levels of contamination are obtained; therefore, before being discharged into the public sewage system, they are treated at the Rastro Wastewater Treatment Plant. In the secondary treatment, the presence of microorganisms is important; therefore, this research is based on the use of AC-MICRO microorganisms, which were mixed with the sludge and other components of the homogenization tank in a container and then entered the acclimatization process with continuous aeration during cycles of 24 hours to obtain the bacteria cocktail, in which the presence of *Paramecium Caudatum* bacteria was visualized. Therefore, 5 inoculations of the cocktail were performed directly in the biological reactor.

To evaluate the efficiency of the inoculated microorganisms, point samples of the wastewater were taken at the inlet and outlet of the biological reactor both before and after the addition of the bacteria cocktail. The results of the parameters pH, turbidity, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, biological oxygen demand, nitrate, phosphate and SVI were obtained for all the samples by means of different methods carried out in the laboratory.

In the statistical analysis, the Shapiro Wilk and Fligner-Killeen tests were used in the R-Studio program and with the values of percentages of removal of turbidity, DO, BOD₅, COD, nitrate and phosphate parameters, it was determined that when inoculated, the percentages of dissolved oxygen, turbidity, COD, nitrate and phosphate parameters increased with values of 69.66%, 73.23%, 75.34%, 25.08% and 39.69%, respectively, and maximum values of pH and SVI of 7.96 and 49.11 mL/g, were obtained. In order to obtain higher removal values in the long term, it was

proposed to inoculate 5 times in a month in the Plant, and the cubic meter water treating cost was $0.009 \frac{\text{dollars}}{\text{cubic meter}}$ and the annual cost was $162 \frac{\$}{\text{month}}$.

Ministerial Agreement No. 097-A of the TULSMA and Municipal Ordinance NT002 detail the maximum allowable limits and confirmed compliance in all samples for the parameters of DO, BOD5, nitrates, phosphates and TSS.

Key words: wastewater, slaughtering process, removal percentage and statistical analysis.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

En el Distrito Metropolitano de Quito, Villacís (2005) menciona que la contaminación de los recursos hídricos es una problemática ambiental grave debido a que las descargas de aguas servidas domésticas e industriales son hacia los ríos, y muchas veces son sin ningún tratamiento previo. Esto ocasiona que fuentes hídricas cercanas se contaminen, por ende, disminuya la calidad de las mismas y ocasione un impacto negativo no solo al ambiente si no directamente a la salud de la población, lo que origina grandes problemas en el desarrollo económico y social del país (p. 9).

La mayoría de los ríos del Distrito Metropolitano de Quito presentan niveles de contaminación y uno de los sitios más críticos está localizado en el sur de la ciudad, en el sector del Camal Metropolitano considerado uno de los puntos más altos de contaminación de Quito. La Empresa de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) mediante la recolección de muestras de los ríos y los efluentes en el lugar, dio como resultado que en el sector la presencia de materiales con mayor concentración son los constituidos por grasas, proteínas y elementos orgánicos, por lo tanto, Puente deduce que todo eso ocasiona que los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno fueran elevados (Puente, 2015).

El agua residual procedente de las diferentes etapas dentro del proceso de faenamiento de los animales del Camal Metropolitano de Quito, de tipo industrial. Marín et al. (2003) enfatiza que el tratamiento biológico a las aguas residuales es factible para depurar una extensa gama de residuos industriales y al mismo tiempo minimiza el impacto de los contaminantes sobre el ambiente. Básicamente consiste en controlar el medio ambiente de los microorganismos, de modo que las condiciones sean las más óptimas para su crecimiento y que logren depurar el agua (citado por

Castillo et al., 2012). Aunque los microorganismos son sensibles a muchos parámetros, FILTEC (2014) recomienda que para que sea un método útil es necesario la adición de bacterias para mejorar o restablecer el proceso de degradación en los tratamientos biológicos.

El presente estudio pretende conocer los porcentajes de remoción de los parámetros físicos y químicos del agua residual al tratarla con los microorganismos de la marca AC-MICRO a través de la adición de un coctel de bacterias en el reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito Metropolitano de Quito (PTAR-DQM) de la Empresa Metropolitana de Rastro Quito (EMRAQ-EP); y mediante los resultados de los parámetros analizados determinar si la adición de bacterias favoreció la disminución de la carga contaminante del agua residual en comparación a los parámetros evaluados antes de inocular los microorganismos.

1.2.Delimitación.

1.2.1. Delimitación geográfica.

El presente estudio se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito Metropolitano de Quito de la Empresa Metropolitana de Rastro Quito, está ubicada al sur de la ciudad de Quito en el Barrio La Ecuatoriana, calle Camilo Orejuela y Secundaria.

Figura 1

Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Camal Metropolitano de Quito



Nota. La figura indica una fotografía aérea de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Camal Metropolitano de Quito. Tomado de ArcGis 10.5.

1.2.2. Delimitación temporal.

El presente estudio se basa en conocer la eficiencia del reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales del Camal Metropolitano de Quito; antes y después de inocular un coctel de bacterias de los microorganismos de la marca AC-MICRO, dentro del periodo mayo-junio de 2021 mediante la toma de muestras y posterior análisis en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana campus sur de la ciudad de Quito.

Los resultados de cada parámetro de calidad del efluente de ingreso y salida del reactor se completaron con información general recopilada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Metropolitano de Quito en base a investigaciones dentro del periodo 2008-2019.

1.2.3. Delimitación sectorial e institucional.

El presente estudio propone adicionar los microorganismos de la marca AC-MICRO al reactor biológico de la PTAR-DMQ para evaluar su eficiencia, mediante los porcentajes de remoción de cada uno de los parámetros de calidad. Además, confirmar el cumplimiento de los límites máximos permisibles para descargar al alcantarillado, establecidos en la legislación ambiental del país.

El trabajo experimental que se llevó a cabo permitirá a los autores cumplir con su proceso de titulación dentro de la Universidad Politécnica Salesiana, por ello el trabajo en campo y laboratorio se complementó con información recopilada en libros físicos y digitales, artículos científicos y trabajos de titulación realizados y/o relacionados a la PTAR-CMQ, entre otras bibliografías. Para el análisis estadístico de los resultados y procesar gráficos se utilizó el programa: R-Studio.

1.3.Pregunta de investigación.

¿Cuál es el comportamiento de los porcentajes de remoción de los parámetros físico químicos antes y después de la aplicación de los microorganismos de la marca AC-MICRO?

1.4. Objetivos general y específicos.

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la remoción de los parámetros físicos y químicos con el uso de los microorganismos AC-MICRO para la descontaminación de las aguas residuales que ingresan al reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la remoción de parámetros físicos y químicos en el agua residual tratada en el reactor biológico, para verificar su funcionamiento actual.
- Determinar el porcentaje de remoción de los parámetros físicos y químicos del agua después de la aplicación de los microorganismos AC-MICRO.
- Realizar la estimación de costos para el tratamiento de agua residual en el reactor biológico con el uso de microorganismos AC-MICRO.

1.5. Hipótesis.

Los porcentajes de remoción de los parámetros físico químicos (pH, turbidez, OD, DBO₅, nitratos, fosfatos y DQO) serán diferentes, antes y después de la aplicación de microorganismos de la marca AC-MICRO.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Contaminación del agua

La Organización Mundial de la Salud menciona que el agua está contaminada por la modificación en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, esto ocasiona la pérdida de la potabilidad para consumo diario o en el uso de las actividades domésticas, industriales, agrícolas entre otras. La contaminación es causada por las acciones del hombre y se inicia a partir de la revolución industrial en el siglo XIX, los procesos productivos iniciados en esta época requirieron grandes volúmenes de agua y el resultado de estos procesos fueron vertidos con desechos contaminantes (Muñoz, 2008, pp. 65-68).

Muñoz (2008) relaciona el avance tecnológico con la disminución en los volúmenes de agua y la cantidad de carga contaminante de las aguas vertidas en los cauces naturales, pero a pesar del progreso esto no ha ocurrido ni en la forma mucho menos en la cantidad de agua utilizada, ya sea por grandes industrias o la población (p. 68).

El Instituto Geológico Minero de España (2016) sostiene que la contaminación es una de las consecuencias del crecimiento demográfico y de la concentración urbana. El incremento de la población y el nivel de vida demandan mayor cantidad de alimentos, energía y servicios, todo ello ocasiona un aumento de la demanda de agua, si no se opta por el tratamiento adecuado para la correcta depuración del agua que se descarga, los mecanismos propios del cauce hídrico llegarán al borde y la calidad de este recurso disminuirá. En muchos casos las industrias se centran en mejorar la parte operacional y el rendimiento económico, y optan por verter sus desechos a ríos y corrientes hídricas sin ningún tratamiento previo ocasionando altos niveles de polución del agua.

2.2. Aguas residuales

El Ministerio de Ambiente y Agua (2015) define “al agua residual como el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original” (p. 81).

Llumiquinga y Parra (2018) sostienen que las aguas residuales ingresan a la planta de tratamiento con el objetivo de minimizar la carga contaminante mediante el respectivo tratamiento o pueden ser descargadas al alcantarillado o directamente a un cuerpo hídrico, lo que ocasiona malos olores y atracción de vectores debido a una inadecuada gestión y su resultado son fuentes hídricas contaminadas (p. 9).

2.2.1. Aguas residuales industriales

Espigares y Pérez (2003, p. 2) define que son aquellas generadas en cualquier actividad cuyo proceso de elaboración, transformación o manejo utilice agua. Su caudal y composición es variable, puede llegar a contener aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal todo ello dependerá de las diferentes actividades industriales.

Muñoz (2008, p. 130) alude que el caudal del agua residual derivada de las industrias no es de forma continua debido a que varía en función de la hora del día o la época del año, también dependerá del tipo de producción y proceso industrial lo que ocasiona; variaciones en el caudal y en la carga contaminante a lo largo del día. Por ende, es importante realizar un estudio específico y detallado del agua residual en cada industria.

Es necesario analizar las sustancias específicas vertidas de cada industria y efectuar la corrección de los parámetros perturbadores con la selección del tratamiento adecuado.

2.2.2. Aguas industriales

Graf (2021) postula que “el agua industrial está destinada a aplicaciones domésticas y terciarias que no necesitan calidad de agua potable. A esta agua la llamamos también a menudo agua bruta o agua de consumo”.

2.2.3. Aguas residuales de mataderos

Muñoz (2008, p. 108) enfatiza que las aguas residuales proveniente de mataderos y/o de industrias de procesos cárnicos o derivados, se caracterizan porque sus vertidos tienen altas concentraciones de DBO e importantes cantidades de sólidos en suspensión debido a los diversos procesos que se realizan en los mataderos.

Dentro del tratamiento de las aguas residuales proveniente de los mataderos, Muñoz (2008, p. 108) plantea que se debería incluir en sus inicios el tamizador y después el tanque homogeneizador en la que se lleva a cabo la decantación para la eliminación entre el 50% al 60% del DQO, DBO, nitrógeno y hierro, la eliminación del 30% al 40% de la turbidez y la eliminación del fósforo será mínima. Para optimizar los resultados se deberá utilizar un tratamiento biológico: fangos activados o procesos anaeróbicos de contacto.

2.2.3.1. Afluente

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2015) alude que “es el agua, agua residual u otro líquido que ingresa a un cuerpo de agua receptor, reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento” (p. 1).

2.1.1.1.Efluente

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2015) manifiesta que es la “descarga o vertido líquido proveniente de un proceso productivo o de una actividad determinada” (p. 5).

2.2.4. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica, muchos de estos parámetros o características se relacionan entre ellos. Conocer cada una de estas características permitirá seleccionar y diseñar la operación unitaria más acorde para su correcta depuración.

2.2.4.1.Características físicas

- Sólidos totales: Metcalf y Eddy (1995) define como la materia que se consigue como residuo luego de someter el agua residual a un proceso de evaporación, se incluye a la materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta (p. 59).
- Olores: se debe a los gases liberados en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Esta característica es de gran importancia en el diseño y proyección en las plantas de tratamiento ya que representa en la población una principal causa de su rechazo al momento de instaurar una planta de tratamiento (Metcalf y Eddy, 1995, p. 63).
- Temperatura: como expresa Metcalf y Eddy (1995) la temperatura que registra el agua residual suele ser más elevada por la procedencia de diversos procesos industriales o a su vez de la parte doméstica. Este parámetro es importante porque influye al crecimiento de la vida acuática como de las reacciones químicas y su velocidad de reacción (p. 70-71).

- Densidad: Metcalf y Eddy (1995) sostiene a la densidad del agua como su masa por unidad de volumen. Esta característica depende de la temperatura y varía en función de la concentración total de sólidos, es importante porque influye en la creación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación (p. 72).
- Turbiedad: como afirma Metcalf y Eddy (1995) indicador de calidad de agua, se relaciona con la presencia de materia coloidal y residual en suspensión esto ocasiona la pérdida de transparencia en el agua ya que provocan un efecto de dispersión o absorción de la luz que impide su transmisión (p. 72).

2.2.4.2. Características químicas

Materia orgánica: son sólidos de origen animal y vegetal, y actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. En su mayoría están conformados por hidrógeno, carbono, oxígeno y en determinados casos de nitrógeno, azufre, hierro o fósforo.

Dentro de este grupo se presentan las siguientes sustancias orgánicas:

- Proteínas: presentes en los alimentos crudos de origen animal y vegetal, en mayor porcentaje se dan en carnes magras y la presencia en grandes cantidades en las aguas residuales puede dar origen a olores desagradables. Su composición es muy compleja e inestable y algunas son solubles en agua (Metcalf y Eddy, 1995, p. 74).
- Hidratos de carbono: en el agua residual se presentan los azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera. Algunos hidratos de carbono son solubles en agua especialmente los azúcares, en el caso de los almidones son insolubles y más estables (Metcalf y Eddy, 1995, p. 74).

- Grasas, grasas animales y aceites: Metcalf y Eddy (1995) expresa que las grasas son compuestos orgánicos de mayor estabilidad y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. La presencia de grasas y aceites puede ocasionar problemas en las plantas de tratamiento ya que si no se elimina su contenido puede interferir con la vida biológica de las aguas superficiales, y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables. (p. 75)
- Agentes tenso activos: están formadas como expresa Metcalf y Eddy (1995) “por moléculas de gran tamaño y solubles en el agua, son los responsables de la aparición de espumas en los vertidos de agua residual” (p. 76).
- Compuestos orgánicos volátiles: son aquellos compuestos orgánicos que poseen su punto de ebullición por debajo de los 100°C y/o con una presión de vapor mayor que 1 mm Hg a 25°C. Se los encuentra en estado gaseoso eso favorece a su rápida movilidad en la atmósfera y ocasiona problemas en la salud pública. El aumento de hidrocarburos reactivos conduce a la formación de oxidantes fotoquímicos (Metcalf y Eddy, 1995, p. 76).

Medición del contenido orgánico: para determinar los altos niveles de contenido orgánico se lleva a cabo diversos ensayos en laboratorio que dependen de las altas concentraciones de contenido orgánico:

Contenido orgánico mayor de 1 mg/L

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Ramalho (2003) citado en Raffo y Ruiz (2014) indica que es “una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia” (p. 76). Es un indicador para la medición de la

contaminación de aguas residuales, se expresa en mg/L y es conocido como DBO₅ al determinarse en un periodo de 5 días.

Los resultados según Metcalf y Eddy (1995) se emplean para:

- “Determinar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
 - Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y medir la eficacia de algunos procesos dentro del tratamiento” (p. 80).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): indica el contenido de materia orgánica del cuerpo de agua, mediante el uso de un agente químico generalmente se emplea el dicromato de potasio para determinar el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable. El dicromato de potasio es un agente oxidante que se caracteriza por oxidar los compuestos orgánicos con excepción de los ácidos grasos de bajo peso molecular (Raffo y Ruiz, 2014, p. 75). En el agua residual la DQO es mayor que el DBO debido a que existe, como lo afirma Metcalf y Eddy (1995), “mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química que por vía biológica” (p. 93).

Materia inorgánica: es importante determinar su presencia en las aguas residuales porque afecta muchos usos del agua y es conveniente examinar su naturaleza.

- pH: es un parámetro en la que la concentración adecuada permite la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica. En el agua residual las concentraciones de pH inadecuadas ocasionan dificultades en los procesos biológicos (Metcalf y Eddy, 1995, p. 95), generalmente el agua se puede tratar por métodos biológicos cuando los valores de pH estén entre 6.5 a 8.5 (Espigares y Pérez, 2003, p. 15). Según Espigares y Pérez (2003) “un aspecto importante del pH es la agresividad

- de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales” (p. 15).
- Nitrógeno: Metcalf y Eddy (1995, p. 97) destacan que el nitrógeno es uno de los principales elementos nutritivos y es esencial para el crecimiento de protistas y plantas además es un elemento básico para la síntesis de proteínas y conocer su concentración es importante para determinar los procesos biológicos que se llevarán a cabo dentro del tratamiento de las aguas residuales. El nitrógeno puede aparecer en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.
 - Nitrato: es la forma más usual y estable, y la más oxidada del nitrógeno que se puede hallar en el agua residual. Este compuesto es inodoro e incoloro y las bajas concentraciones son normales, pero al encontrarse en altas concentraciones en el agua llega a estar contaminada. El nitrato se mueve con facilidad por el suelo llevado por el agua lluvia o de riego hasta el agua subterránea. Las fuentes más comunes son suelos rurales y actividades agrícolas (Water Boards, 2013). Cárdenas y Sánchez (2013) afirman que la adición de cloro permite reducir o bloquear la toxicidad de los nitratos mediante los iones de cloruro. Se recomienda en aguas residuales con altísimas concentraciones de amonio o nitrato de pequeño caudal (p. 77).
 - Fósforo: es fuente de nutrientes para las plantas y es esencial para el desarrollo de algas y otros organismos biológicos. Este compuesto ingresa en cantidades altas a las plantas de tratamiento de aguas residuales como componentes de los detergentes. Las formas más frecuentes que se presenta en este elemento son el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos (Metcalf y Eddy, 1995, p. 98).

- Fosfato: Putz (2008) enfatiza que se lo encuentra en las aguas residuales y aguas superficiales debido a la presencia de fertilizantes derramados en el suelo, excreciones humanas y animales y productos de limpieza (pp. 1-2).

Sus altas concentraciones pueden llevar a la eutrofización de las aguas superficiales, al igual que el nitrógeno.

Gases presentes en el agua residual: se encuentran con frecuencia en las aguas residuales.

Se presentan comúnmente en la atmósfera el nitrógeno, el oxígeno, y el dióxido de carbono y los que provienen de la descomposición de la materia orgánica son el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el metano (Metcalf y Eddy, 1995, p. 101).

- Oxígeno disuelto: es soluble en agua y su presencia es necesaria para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida, además su concentración está relacionada con la temperatura, presión y salinidad. En el agua residual es deseable y conveniente tener cantidades considerables de oxígeno disuelto porque evita la creación de olores desagradables (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 101-102).

2.2.4.3. Características biológicas

Los principales organismos presentes en las aguas residuales y superficiales son las bacterias, los hongos, las algas, los protozoos y los virus. Muchos de estos son considerados patógenos porque pueden provenir de desechos humanos que estén infectados y sean portadores de una determinada enfermedad y al presentarse en cantidades muy pequeñas en las aguas residuales y contaminadas son difíciles de aislar e identificar (Metcalf y Eddy, 1995, pp. 103-106).

2.3.Fundamentación del tratamiento biológico de las aguas residuales

El tratamiento biológico en las aguas residuales se emplea para remover los contaminantes por acción biológica. Principalmente se utiliza para eliminar: la materia orgánica biodegradable soluble e insoluble, nitrógeno y fósforo, la coagulación de los sólidos no sedimentables coloidales y la materia orgánica estabilizada debido a la presencia de una gran variedad de microorganismos (Buitrón et al., 2019).

De acuerdo con Moeller y Tomasini (2010):

La materia orgánica contaminante es utilizada como alimento por los microorganismos presentes en los tanques o reactores. De esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo sus funciones vitales y la materia orgánica es transformada en nuevas células y otros productos que pueden ser más fácilmente separados del agua. (p. 154)

Buitrón et. al. (2019) señalan a los siguientes parámetros necesarios e importantes a tener en cuenta para cualquier proceso de tratamiento biológico de aguas:

- Los requerimientos nutricionales de los microorganismos.
- El metabolismo de los microorganismos.
- La relación entre crecimiento microbiano y utilización del sustrato.
- Los factores ambientales que afectan el crecimiento microbiano, como son: la temperatura, el pH y el oxígeno presente en el reactor biológico (p. 11).

El objetivo principal los tratamientos biológicos en las aguas residuales industriales según Moller y Tomasini (2010) es el de retirar o disminuir la concentración tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos, mediante la oxidación biológica de la materia orgánica que realizan los microorganismos (p. 148).

Los procesos biológicos dentro del tratamiento de las aguas residuales se dividen dependiendo de la forma en que los microorganismos aprovechan el oxígeno, los principales son los procesos aerobios (requieren oxígeno) y los anaerobios (que no requieren de oxígeno) (Moeller y Tomasini, 2010, p. 154). El proceso biológico más conocido y aplicado en la mayoría de plantas de tratamiento es el de lodos activos.

2.3.1. Proceso biológico de lodos activos

Es un proceso biológico aerobio que se basa en el uso de microorganismos, mayoritariamente bacterias heterótrofas facultativas. La función de los microorganismos es de oxidar la materia orgánica compleja presente en las aguas residuales hasta CO_2 , H_2O , NH_3 y biomasa. Moeller y Tomasini (2010) afirman lo siguiente:

El proceso de lodos activados inicia con el efluente procedente del pretratamiento y tratamiento primario. Se mezcla el efluente con cantidades variables (20 a 100%) de la purga del clarificador secundario o sedimentador secundario para ser enviada al tanque de aireación, donde se mezclan los organismos y las aguas residuales conjuntamente con una gran cantidad de aire (por medio de aireación mecánica o por difusores) y ocasiona que los organismos oxiden una parte del desecho y produzcan células microbianas nuevas utilizando la energía obtenida de la oxidación. Luego la mezcla entra al sedimentador secundario o clarificador, donde los microorganismos en suspensión crecen y se agrupan formando flóculos. Estos se asientan y son removidos de la corriente del efluente. Los microorganismos sedimentados (lodo activado) recirculan hacia el inicio del tanque de aireación para mezclarlos de nuevo con el agua residual. La mezcla de los lodos activos y del agua residual se denomina “licor de mezcla”. Finalmente, el efluente tratado en el

proceso biológico se envía al siguiente proceso dentro de la planta de tratamiento para completar su depuración. (pp. 163-164)

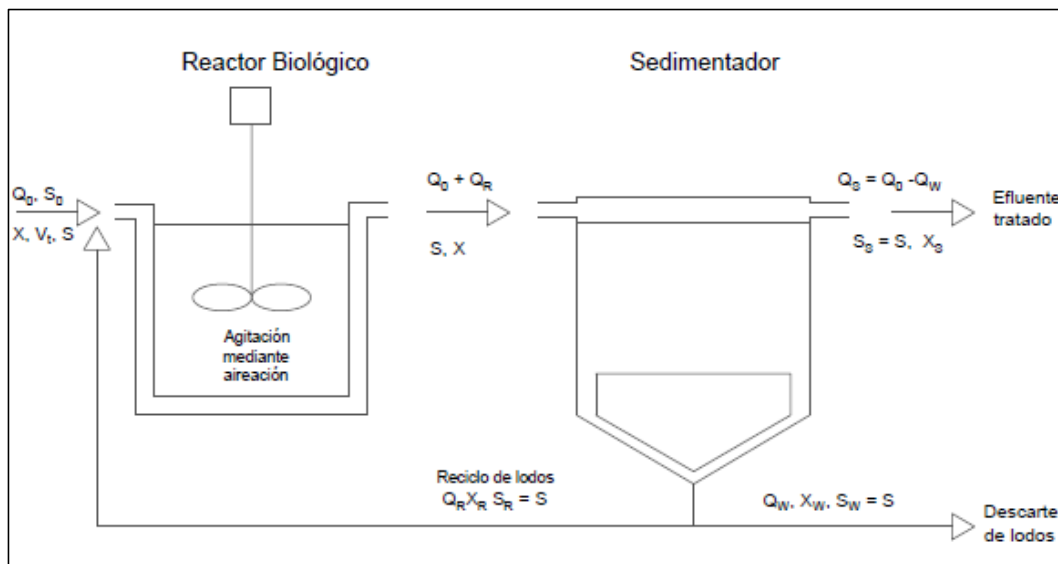
Es necesario deshacerse del exceso de lodos activados cada día junto con los lodos provenientes de la sedimentación primaria.

El proceso de lodos activos consta principalmente, como lo menciona Buitrón et. al. (2019), de (como se visualiza en la **Figura 2**):

- Tanque de aireación (reactor) en el cual los microorganismos se mantienen en suspensión y aireados.
- Sistema de separación de sólidos (normalmente un tanque de sedimentación) de un sistema de recirculación para devolver la biomasa sedimentada (microorganismos y sólidos inertes) al reactor. (p. 13)

Figura 2

Diseño del sistema de fangos activados con sus respectivas variables



Nota. El grafico representa el proceso biológico de lodos activados en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Copyright 2014 por Nuria Jiménez

En las siguientes tablas se especifica la notación empleada

Tabla 1

Notación empleada referente al caudal (m^3)

Símbolo (m^3)	Definición
Q_0	Caudal de entrada
Q_R	Caudal de recirculación
Q_S	Caudal de salida
Q_W	Caudal de purga

Nota. Esta tabla muestra notación empleada referente al caudal. Copyright 2014 por Nuria Jiménez

Tabla 2

Notación empleada referente a la materia orgánica ($mg\ DBO/L$)

Símbolo	Definición
S_0	Concentración de materia orgánica a la entrada
S_R	Concentración de materia orgánica en recirculación
S_S	Concentración de materia orgánica a la salida
S_W	Concentración de materia orgánica en la purga
S	Concentración de materia orgánica en el reactor

Nota. Esta tabla muestra notación empleada referente a la materia orgánica. Copyright 2014 por Nuria Jiménez

Tabla 3

Notación empleada referente a la biomasa (mg SSV/L)

Símbolo	Definición
X_R	Concentración de biomasa en recirculación
X_S	Concentración de biomasa a la salida
X_W	Concentración de biomasa en la purga
X	Concentración de biomasa en el reactor

Nota. Esta tabla muestra notación empleada referente a la biomasa. Copyright 2014 por Nuria Jiménez

2.3.1.1. Reactores biológicos

El tratamiento de las aguas residuales se ejecuta en tanques o depósitos de distintos tipos y formas denominados reactores que están bajo condiciones controladas y es donde sucede transformaciones químicas o biológicas, los productos de las reacciones suele separarse por decantación. La elección de los procesos de tratamiento es un factor clave por lo cual se debe prestar mucha atención a la cinética de las reacciones que se originan y a la elección del tipo de reactor (Metcalf y Eddy, 1995, p. 96).

2.3.1.2. Reactor aerobio y continuo

Los reactores aeróbicos contienen biomasa suspendida casi invariablemente y requieren el uso de aireadores para proveer oxígeno a los microorganismos. Los procesos que ocurren en este reactor permiten que el tratamiento de las aguas residuales sea con gran estabilidad y alto grado de eliminación de carga orgánica (DBO), nitrógeno y fósforo (Bertola et al., 2007, p. 1).

Bertola et al. (2007) recalca que “los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales a gran escala son operados en modo continuo, debido a que el agua residual es alimentada permanentemente a la planta y una corriente es eliminada en el sedimentado” (p. 2).

2.3.1.3. Sedimentador secundario

Se encarga de separar completamente toda la biomasa, considerado como los sólidos en suspensión, de la parte líquida. También sirve como depósito debido a que parte de los lodos recirculan para conservar un nivel definitivo de éstos en el tanque de aireación, y la otra parte se descarta y purga (Bertola et al., 2007, p. 12).

2.3.1.4. Aplicación del análisis de balance de masas

Con el balance de masas se puede formular de modo conveniente lo que sucede en el interior de las instalaciones del tratamiento en función del tiempo, esta información es relevante ya que refleja los datos sobre la cinética de reacción y la hidráulica de los reactores. Dichos balances se basan en el principio de conservación de la materia y se proyecta sobre un volumen de control determinado (Bertola et al., 2007, p. 4).

El balance de masas se formula de la siguiente manera, como lo establece Metcalf y Eddy (1995):

Planteamiento para un reactivo:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Velocidad de} & & \text{Velocidad de entrada} & & \text{Velocidad de salida} & & \text{Velocidad de} \\ \text{acumulación de} & = & \text{de reactivo en el} & - & \text{de reactivo del} & + & \text{generación} \\ \text{reactivo dentro del} & & \text{sistema} & & \text{sistema} & & \text{(utilización) de} \\ \text{límite del sistema} & & & & & & \text{reactivo dentro del} \\ & & & & & & \text{sistema} \end{array}$$

Planteamiento simplificado:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación}$$

Expresión simbólica:

$$V \frac{dC}{dt} = QC_0 - QC + V(\text{velocidad de reacción}, r_c)$$

Ecuación 1

Balance de masas

$$V \frac{dC}{dt} = QC_0 - QC + V(-kC)$$

Donde;

$V = \text{volumen del reactor, } L^3$

$\frac{dc}{dt} = \text{velocidad de variación de la concentración del reactivo dentro del reactor, } ML^{-3}T^{-1}$

$Q = \text{caudal que entra y sale del reactor, } L^3T^{-1}$

$C_0 = \text{concentración de reactivo a la entrada del reactor, } ML^{-3}$

$C = \text{concentración de reactivo en el reactor, } ML^{-3}$

$k = \text{constante de primer orden de la reacción, } T^{-1}$. (p. 201)

2.3.1.5. Parámetros operacionales del proceso de lodos activados

- Concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla (SSLM): su concentración óptima dependerá del tipo de agua a tratar y de las características del sistema de tratamiento. La concentración de sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) no debería ser inferior a 1500 mg/L ni superior a 5000 mg/L (Buitrón et al., 2019, p. 15).

Buitrón et al. (2019) enfatizan que:

La concentración de SSLM no sólo debe considerarse en términos de eficacia de tratamiento, sino también en términos de optimización de los sistemas de mezclado y transferencia de oxígeno en los reactores biológicos. A concentraciones de SSLM elevadas, la potencia necesaria para la transferencia de oxígeno será mayor que la potencia requerida para el mezclado. A medida que la concentración de SSLM se reduce, la potencia requerida para el mezclado tendrá mayor peso que la potencia requerida para la transferencia de oxígeno. Existe un cierto valor de SSLM para el cual la potencia requerida para el mezclado y para la aireación son iguales. A concentraciones menores de este valor de SSLM el sistema requiere mayor potencia para el mezclado que para la oxigenación y esta situación no es económicamente

favorable en una depuradora (en la mayoría de los casos este valor límite inferior de SSLM es de 1500 mg/L). (pp. 15-16)

- Tiempo de retención de sólidos (TRS): este parámetro simboliza el período de tiempo medio en el cual la biomasa persiste en el sistema. Es muy importante para el diseño y operación de los sistemas de lodos activos (Buitrón et al., 2019, p. 16).
- Carga orgánica y relación alimento/microorganismos; La velocidad de carga orgánica expone la tasa o velocidad con la que los nutrientes (contaminantes) ingresan al sistema. Si las plantas cuentan con sedimentador primario se estima la concentración de DQO o DBO del efluente y en aquellas sin sedimentador directamente la concentración de entrada a la planta. Para medir el nivel de carga del proceso de lodos activos se utiliza el parámetro alimento/microorganismos (F/M) (Buitrón et al., 2019, p. 17).

Buitrón et al. (2019) propone que este parámetro permite “mantener un balance adecuado entre la cantidad de nutrientes disponibles y la cantidad de microorganismos en el reactor aerobio” (p. 17).

- Niveles de oxígeno disuelto: el oxígeno en los microorganismos es necesario para oxidar los contaminantes presentes en el agua residual. Es indispensable que se supervise la concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio ya que si presenta valores bajos también la velocidad de consumo de contaminantes decrecerá, por ello se recomienda que el tanque de aireación mantenga una concentración de oxígeno disuelto entre 1.0–2.0 mg O₂/L y en casos especiales (sistemas de nitrificación) en 2–4 mg O₂/L (Buitrón et. al, 2019, p. 18).

- Sedimentabilidad de licor de mezcla; este parámetro es importante ya que si existe una mala sedimentabilidad causará una mala calidad del efluente del proceso. La sedimentabilidad se mide a través del Índice Volumétrico de Lodos (IVL) y al detectar valores de este índice menores a 100 mL/g se consideran aceptables en el proceso de lodos activos y con valores mayores a 150 mL/g están asociados al desarrollo de bacterias filamentosas dando como efecto una mala sedimentabilidad del licor de mezcla que puede originar alteración en la calidad del efluente (Buitrón et. al., 2019, p. 18).
- Ecología del licor de mezcla: la observación del licor de mezcla es importante porque presenta información relevante de la condición de los microorganismos presentes en los lodos activados. Muchos de estos microorganismos son bacterias, hongos, levaduras, protozoarios y nematodos (Buitrón et. al., 2019, p. 19).

2.3.1.6. Estrategias de operación del sistema de lodos activados

- Regulación de la tasa de recirculación de lodos: es una estrategia para conservar una concentración de lodos activos en el reactor aerobio, mediante la recirculación del caudal de lodo desde el sedimentador secundario al reactor aerobio, con el objetivo que los microorganismos se mantengan más tiempo en el reactor que en el agua residual que fluye a través de éste (Buitrón et al., 2019, p. 19-20). Horan (1990) citado por Solís (2011) sostiene que la regulación de los lodos hacia el reactor aerobio permite conservar una cantidad idónea de sólidos para el saneamiento de aguas residuales. Asimismo, Winkler (1999) plantea que la recirculación se utiliza como inóculo microbiano, al incluir y variar continuamente la calidad del lodo en la fase de aireación (p. 21).

- Regulación de la tasa de purga de lodos: se fundamenta en mantener el tiempo de retención de sólidos del sistema a través de la separación del exceso de lodo producido. El objeto de este método es que la cantidad de lodos activados en el proceso persista lo más constante posible. Sin la regulación llegaría afectar a la calidad del efluente, a la velocidad de desarrollo de los microorganismos, al consumo de oxígeno, a la sedimentabilidad del licor de mezcla, a la cantidad de nutrientes necesitada y a la oportunidad de tener nitrificación en el sistema (Buitrón et al., 2019, p. 20).
Buitrón et al. (2019) indican que la purga de los lodos activos puede ejecutarse directamente en el reactor aerobio y evitar una purga en exceso, pero regularmente se efectúa en la línea de recirculación de lodos desde el sedimentador, ya que los lodos activados recirculados (LAR) están más concentrados que en el reactor y por tanto la inversión de bombeo son menores (p. 20).
- Regulación de la relación F/M: de acuerdo con Buitrón et al. (2019) “se utiliza para asegurar que el proceso se alimente a la misma velocidad a la que los microorganismos del licor de mezcla sean capaces de degradar los contaminantes del agua residual (nutrientes)” (p. 21).

2.3.2. El papel de los microorganismos

Dentro del tratamiento biológico interviene una serie de microorganismos. Moeller y Tomasini (2010) aluden que “los microorganismos utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta como alimento para llevar a cabo todas sus funciones metabólicas como: crecimiento y reproducción, y generan como productos finales, varios tipos de gases y materia inorgánica y más células (biomasa)” (p. 151).

Al tener la biomasa una gravedad específica mayor que la del agua estas se pueden remover por sedimentación.

Moeller y Tomasini (2010) enuncian lo siguiente:

Un diseño efectivo de un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Las necesidades nutricionales de los microorganismos.
- Los factores ambientales que afectan el crecimiento microbiano.
- El metabolismo de los microorganismos.
- La relación entre el crecimiento biológico y la utilización del sustrato.

Los microorganismos importantes en el tratamiento biológico del agua residual son: los microorganismos procariotes (eubacterias y arqueobacterias) que suelen denominarse simplemente bacterias. Los organismos eucariotes importantes en el tratamiento biológico de las aguas residuales incluyen: hongos, protozoos y rotíferos, y algas. (p. 151)

2.3.2.1. Cinética del crecimiento biológico

Empleando las palabras de Moeller y Tomasini (2010):

Las condiciones medio ambientales son importantes para un adecuado desarrollo de los microorganismos, se pueden controlar mediante la regulación del pH, de la temperatura, la adición de nutrientes o elementos traza, la adición o exclusión de oxígeno o mediante una mezcla adecuada del medio. (p. 153)

Moeller y Tomasini (2010) deducen que el tiempo de permanencia de los microorganismos en el sistema permite asegurar su crecimiento o reproducción, la cual está estrechamente asociada

con la velocidad a la que metabolizan o usan el sustrato, en este caso el residuo (p. 153)

2.3.2.2. Composición de los flóculos de lodos activados

Los flóculos contienen células bacterianas y partículas orgánicas e inorgánicas.

- Bacteria: son organismos protistas unicelulares que pueden vivir como autótrofos o como heterótrofos y son los más abundantes presentes en el flóculo. Su función en el proceso de lodos activados es la estabilización del material orgánico y la transformación de los nutrientes, originan polisacáridos y materiales poliméricos que ayudan en la floculación de la biomasa microbiana (Moeller y Tomasini, 2010, p. 165).

En lodos activados es común encontrar bacterias del género *Alcaligenes flavobacterium*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, y en los procesos de purificación es importante la presencia de bacterias nitrificantes como: *Nitrosomas*, *Nitrobacter* y *Zooglea ramigera* debido a que estos son los principales organismos en la formación de lodo activado por su gran habilidad para crear floc biológico (Romero, 2010, p. 422).

Según Moeller y Tomasini (2010) los principales géneros son:

- “*Zooglea*
- *Pseudomonas*
- *Flavobacterium*
- *Alcaligenes*
- *Bacillus*
- *Achromobacter*
- *Corynebacterium*
- *Comomonas*
- *Brevibacterium*

- Acinetobacter
 - Organismos Filamentosos (*Sphaerotilus*, *Beggiatoa*)
 - Bacterias autotróficas nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*)
 - Bacterias sulfurosas fototróficas (*Rhodospirillaceae*)” (p. 165).
- Hongos: mencionando a Romero (2010) son protistas eucariontes aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos, algunos se caracterizan por ser saprofitos debido a que consiguen su alimento de la materia orgánica muerta. No es común el crecimiento de hongos en el sistema de lodos activados, pero en ocasiones se han presentado filamentos fungales. Sobresalen debido a que son capaces de degradar compuestos orgánicos considerablemente complejos (p. 59).

Su crecimiento según Moeller y Tomasini (2010) puede favorecerse en condiciones de pH bajo, toxicidad, en áreas reducidas, efluentes con deficiencia de nitrógeno y cuando hay altas relaciones de C:N, algunos géneros encontrados son los siguientes:

- *Geotrichium*
 - *Penicillium*
 - *Cephalosporium*
 - *Cladosporium*
 - *Alternaria* (p. 166).
- Protozoarios: la mayoría son heterótrofos aerobios o facultativos. Romero (2010) señala que al igual que las bacterias son los organismos más abundantes en lodos activados, suelen ser saprobicos y compiten con las bacterias por el material orgánico. Los más comunes son los protozoos flagelados, también se han encontrado amibas en las paredes de los tanques de aireación. Los principales grupos son los siguientes:

- Ciliados
- Flagelados
- Rizópoda o Amiboidea (p. 423)
- Rotíferos: como expresa Romero (2010) el papel de los rotíferos en los lodos activados es retirar las bacterias suspendidas no floculadas y favorecer con sus desechos a la formación del flóculo. Se han encontrado en procesos de aireación prolongada con carga orgánica baja (p. 423). Según Moeller y Tomasini (2010) “los rotíferos presentes en lodos activados pertenecen a dos órdenes principales:
 - Bdeloidea (Philodina y Habrotocha)
 - Monogononta (Lecane y Notomata)” (p. 167).
- Algas: son microorganismos eucariotes, autótrofos, fotosintéticos y contienen clorofila. Se presentan en condiciones poco comunes, como en aguas residuales deficientes de nitrógeno (Romero, 2010).

Como señala Romero (2010) “el agua que tiene algas presenta una variación diurna de los niveles de oxígeno disuelto, teniendo lugar una sobresaturación de oxígeno durante el día y una disminución significativa en la noche” (p. 422).

2.3.3. Coctel de bacterias.

El cóctel de bacterias es una mezcla de microorganismos para el tratamiento biológico aerobio o facultativo. Se encuentra en solución acuosa y contiene además ingredientes aditivos (excipientes y micro nutrientes) que deben ser previamente diluido en agua limpia libre de cloro en proporción 1:10 v/v y después de un tiempo establecido aplicarlo directamente en la etapa del tratamiento biológico (GAD Municipal de Rumiñahui, 2015, p. 12).

Por lo general los microorganismos son sensibles a muchos parámetros en un tratamiento biológico: la presencia de carga orgánica muy elevada en el efluente ocasiona que las bacterias del sistema no sean suficientes para emplear todos los nutrientes existentes, y en las temperaturas extremas (frías y calientes) pueden retardar el metabolismo de las bacterias de tal manera que no cumplan con reducir la carga contaminante como la DBO (FILTEC, 2014).

La adición de bacterias es decisiva en la eficiencia de remoción y se realiza en la etapa biológica aerobia. Esta adición favorece una adecuada concentración de bacterias suspendidas en los tanques de tratamiento, considerados de mezcla completa, sin embargo, los lodos biológicos formados en el inferior también contribuyen a la degradación (GAD Municipal de Rumiñahui, 2015, pp. 13-14).

2.3.4. Microorganismos de la marca AC-MICRO

La empresa Vida, Ambiente Limpio y Tecnología (VIALTEC S.A.) sostiene que es un producto natural y su objetivo es minimizar el impacto y/o efectos negativos ambientales, causado por las actividades agroindustriales. Está compuesto de sustancias biodegradables y contiene una gama microbiana que cohabitan en un sustrato líquido y energético de origen vegetal. Son benéficos porque coexisten en perfecto equilibrio y es completamente inocuo para el ser humano y para el medio ambiente (VIALTEC, 2016).

Como expresa VIALTEC S.A. (2016) “AC-MICRO es una herramienta biológica para descomponer la materia orgánica sólida o líquida y tratar biológicamente las aguas residuales de la agroindustria, las aguas negras y servidas de sistemas comunales o municipales” (p. 1).

Su uso permite degradar las grasas, controlar malos olores y gases tóxicos derivados de la descomposición de la materia orgánica ocasionados en la actividad porcina, avícola, ganadera o cualquier explotación pecuaria (VIALTEC S.A., 2016).

VIALTEC S.A. recalca lo siguiente:

Se usa en lagunas de oxidación o plantas de tratamiento ya sean aeróbicas o anaeróbicas puesto que su gama microbiana posee organismos que se activan en cualquier fase, incluso en ambas como es el caso de los facultativos. Su función principal en los sistemas de tratamiento de agua residual es el control de olores, tratamiento de lodos y natas. Además, bajan los valores de los parámetros de contaminación del agua requeridos y estipulados por la autoridad ambiental nacional. (p. 2)

La composición de los microorganismos de la marca AC-MICRO se exponen a continuación:

Tabla 4

Composición de los microorganismos de la marca AC-MICRO

Composición	Microorganismos
Aeróbicas, facultativas y anaeróbicas	1×10^4 UFC/mL
Hongos descomponedores, levaduras de tipo alimenticio	1×10^3 UFC/mL
Total, complejo natural de bacterias	1×10^{12} UFC/mL

Nota. Esta tabla se describe la composición de los microorganismos de la marca AC-MICRO.

2.4. Camal Metropolitano de Quito

En estas instalaciones se lleva a cabo el proceso de faenamiento de los animales bovino, ovino y porcino con el objetivo de conseguir su carne para el consumo humano, todo ello bajo condiciones óptimas, normas técnicas y sanitarias establecidas por las autoridades del Distrito Metropolitano de Quito.

La Empresa Pública Metropolitana de Rastro (2020) es la institución delegada de manejar el sistema municipal de faenamiento y venta de especies animales para el consumo humano en todo el Distrito Metropolitano de Quito. Sus objetivos son:

- Garantizar que el proceso de faenado de los animales se ejecute de forma apropiada bajo las normas sanitaria.
- Vigilar que todos los procedimientos relacionados con transporte, estancia previa al sacrificio y faenamiento de animales de consumo en pie de los centros de faenamiento y de comercialización cumplan con las disposiciones contenidas en normas internacionales de bienestar animal.
- Establecer un sistema de trazabilidad para toda la cadena de producción de cárnicos y sus subproductos; así como generar y procesar sus propios productos y subproductos cárnicos, comercializarlos, industrializarlos, transportarlos y posicionarlos en el mercado.
- Proveer servicios en la producción como: recepción, vigilancia en corrales, arreo, faenamiento, inspección y control veterinario, de laboratorio y despacho.
- Proporcionar servicios en la distribución y la regulación de transporte sanitario de productos cárnicos de ganado apto para el consumo humano. (Empresa Pública Metropolitana de Rastro, 2020)

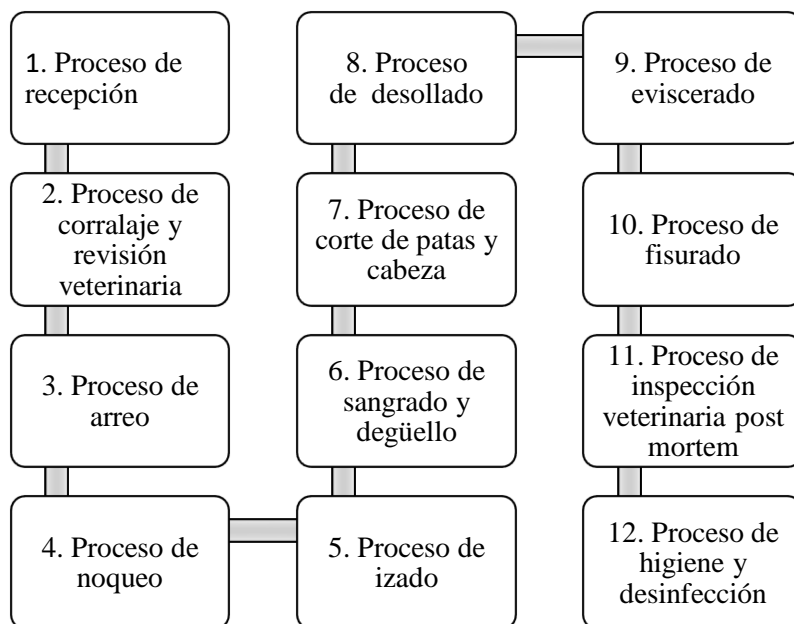
2.4.1. Proceso de faenamiento

En el Camal Metropolitano de Quito se lleva a cabo el proceso de faenamiento de animales de tipo bovino, ovino y porcino, procesos detallados a continuación:

2.4.1.1. Proceso de faenamiento de bovinos.

Figura 3

Esquema del proceso de faenamiento de bovinos



Nota. Se muestra el proceso de faenamiento de bovinos que se lleva a cabo en el Camal Metropolitano de Quito. Se obtuvo de la Empresa Pública Metropolitana de Rastro (2020).

A continuación, se describe el proceso faenamiento de los animales bovinos que se lleva a cabo en el Camal Metropolitano de Quito. Como lo menciona la Empresa Pública Metropolitana de Rastro:

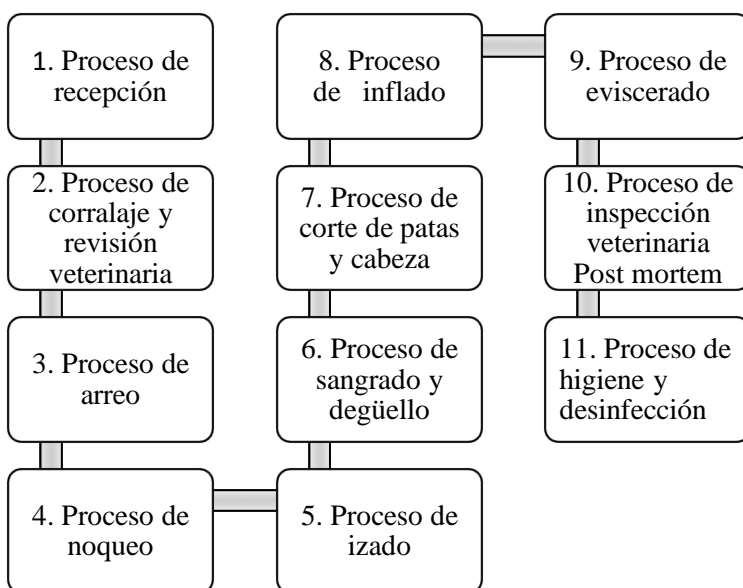
- 1) Recibir a los animales para identificarlos, pesarlos y ubicarlos en los corrales.
- 2) Los animales deben cumplir un tiempo de estancia normado, para ser hidratados y pasar al proceso de descanso y relajación muscular.
- 3) Se trasladan al duchado, para someterlos a una higienización inicial.
- 4) Mediante el noqueo físico al animal por la aplicación o uso de una pistola neumática, se insensibiliza al animal a ser sacrificado.
- 5) Colgar al animal en un gancho adherido a un riel para su movilidad.

- 6) Realizar un corte en las arterias del cuello del animal (estando boca abajo) para que se desangre, se recoge la sangre para convertirla en harina de sangre.
- 7) Se procede a cortar las patas y la cabeza del animal.
- 8) Desollar al animal de forma mecánica, procedimiento que se realiza aplicando aire a presión entre el cuero y la carnosidad.
- 9) Extraer los órganos internos de cada animal.
- 10) Mediante una sierra eléctrica se realiza una incisión longitudinal del esternón y la columna vertebral.
- 11) La carne faenada es revisada por el veterinario para determinar su integridad orgánica y estado sanitario.
- 12) Para desinfectar la carne aplican agua a presión y/o ácido orgánico sobre las superficies corporales. (2020)

2.4.1.2. Proceso de faenamiento de ovinos

Figura 4

Esquema del proceso de faenamiento de ovinos



Nota. Este esquema muestra el proceso de faenamiento de ovinos que se lleva a cabo en el Camal Metropolitano de Quito. Se obtuvo de la Empresa Pública Metropolitana de Rastro (2020).

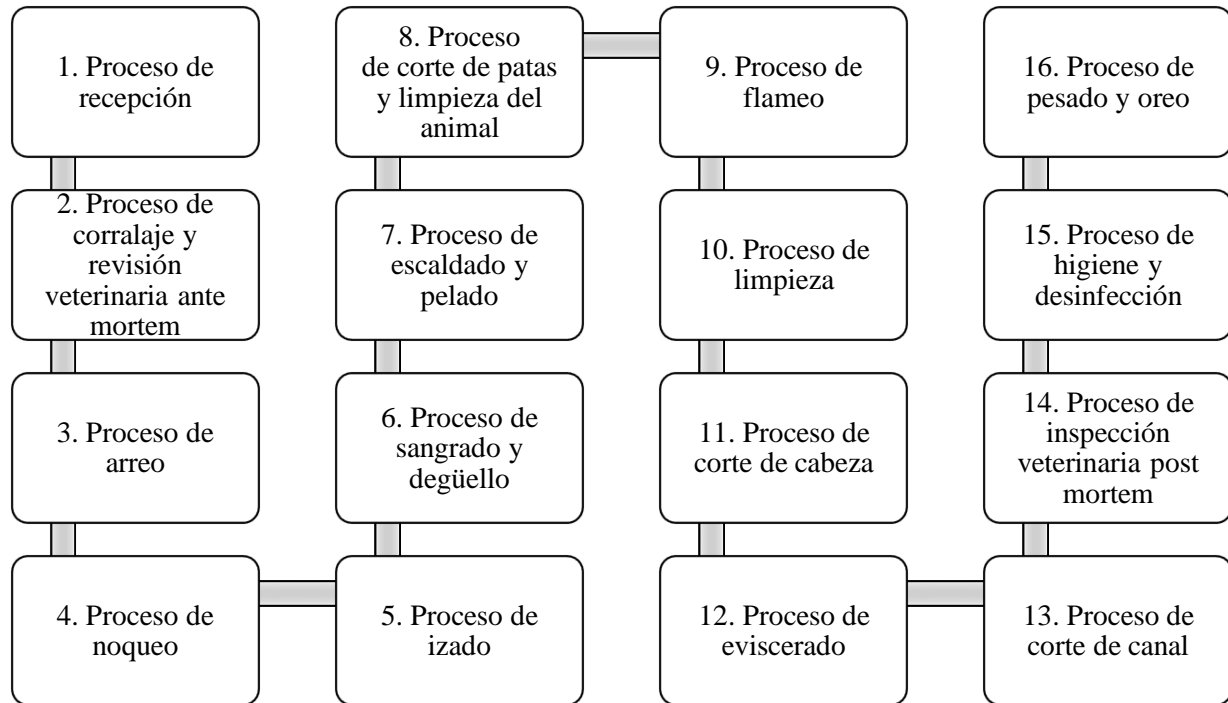
A continuación, se describe el proceso faenamiento de los animales ovinos que se lleva a cabo en el Camal Metropolitano de Quito. Como expresa la Empresa Pública Metropolitana de Rastro:

- 1) Identificar, pesar y ubicar a los animales en los corrales.
- 2) Los animales cumplen un tiempo de estancia para ser hidratados y pasar a un proceso de descanso y relajación muscular, y el control veterinario ante mortem.
- 3) Trasladas a los animales mediante las mangas de producción para iniciar al proceso de faenamiento.
- 4) Noqueo físico al animal por aplicación o uso de amperaje, previamente se debe insensibilizar al animal.
- 5) Colgar al animal en un gancho adherido a un riel para facilitar su movilidad en el proceso de desangrado y posteriores pasos del proceso de faenamiento.
- 6) Se realiza un corte en las arterias del cuello del animal (estando boca abajo) para que el animal se desangre, la sangre es recogida en una canaleta especial y luego convertirla en harina de sangre.
- 7) Cortar las patas y la cabeza del animal.
- 8) Desollar al animal aplicando aire a presión entre el cuero y la carnosidad.
- 9) Extraer los órganos internos de cada animal, llamados vísceras.
- 10) Revisar la carne por parte del veterinario para determinar su integridad orgánica y estado sanitario.
- 11) Desinfectar al animal con la aplicación de agua a presión y/o ácido orgánico sobre las superficies corporales. (2020)

2.4.1.3. Proceso de faenamiento de porcinos

Figura 5

Esquema del proceso de faenamiento de porcinos



Nota. Este esquema muestra el proceso de faenamiento de porcinos que se lleva a cabo en el Camal Metropolitano de Quito. Se obtuvo de la Empresa Pública Metropolitana de Rastro (2020)

A continuación, se describe el proceso faenamiento de los animales porcinos que se lleva a cabo en el Camal Metropolitano de Quito. Como señala la Empresa Pública Metropolitana de Rastro (2020).

- 1) Los animales son identificados, pesados y ubicados en los corrales para cumplir con las medidas sanitarias.
- 2) Deben cumplir con un tiempo de estancia para ser hidratados, prontamente pasar al proceso de descanso, relajación muscular y el control veterinario ante mortem.

- 3) Se traslada a los animales mediante la manga de producción para iniciar con el proceso de faenamiento.
- 4) El noqueo es mediante una descarga de amperaje previamente se insensibiliza al animal.
- 5) El animal es colgado en un gancho adherido a un riel y trasladado al proceso de desangrado y posteriores pasos del proceso de faena.
- 6) Desangrar al animal con un corte en las arterias del cuello de este (estando boca abajo), la sangre se recoge en una canaleta especial para convertirla en harina de sangre.
- 7) El pelaje se elimina usando agua caliente y la aplicación de maquinaria de pelaje.
- 8) Eliminar las patas del animal y su sanitización.
- 9) Desprender o eliminar completamente la cerda o pelo pequeño, mediante un método de flameo,
- 10) Limpiar la parte ventral y dorsal del animal.
- 11) Cortar horizontal la cabeza y se elimina por requerimiento del cliente.
- 12) Corte de pene, escroto y testículos del animal.
- 13) Corte longitudinal de canal del animal porcino.
- 14) Revisión de la carne por parte del veterinario para determinar su integridad orgánica y estado sanitario.
- 15) Desinfectar al animal mediante la aplicación de agua a presión y/o ácido orgánico sobre las superficies corporales.
- 16) Pesar al animal en canales para la entrega del producto a sus clientes. (2020)

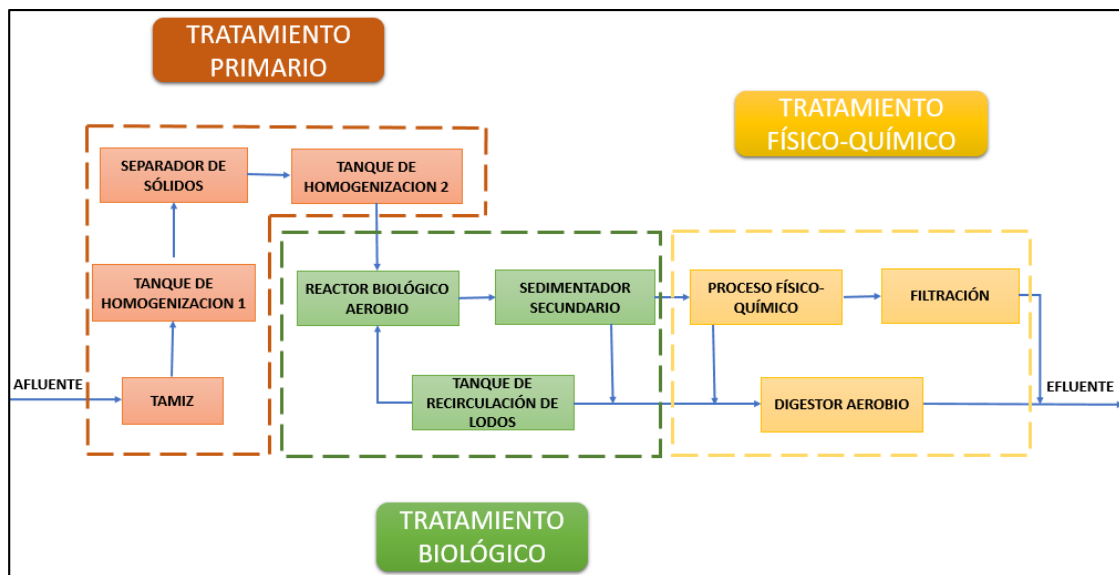
2.4.2. Procesos Unitarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Metropolitano de Quito (PTAR-CMQ)

La PTAR-CMQ recibe el efluente que proviene del proceso de faenamiento de los animales bovino, ovino y porcino. Su objetivo es depurar las aguas residuales y que los parámetros de calidad cumplan con lo establecido en la legislación ambiental vigente para descargar al alcantarillado público.

El agua residual proveniente del Camal Metropolitano de Quito es tratada en la planta de tratamiento en base al siguiente diagrama.

Figura 6

Diagrama de Procesos Unitarios de la PTAR-CMQ



Nota. Esta figura representa el diagrama de procesos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Metropolitano de Quito. Tomado de Evaluación de la gestión de residuos sólido en la planta de tratamiento de aguas residuales del Camal Metropolitano de Quito y propuesta de mejora realizado por Chango & Simbaña, 2016.

2.4.2.1. Tratamiento Primario

Es la parte inicial del tratamiento de depuración de las aguas residuales del Camal Metropolitano de Quito, se llevan a cabo operaciones unitarias, es decir, transformaciones físicas siendo su principal función separar del agua residual las fracciones de sólidos en suspensión y de materia orgánica.

Tamiz: el término tamiz hace referencia a un soporte delgado dotado de ranuras de paso que desempeña la función de desbaste por retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión presentes en el agua residual, debido a que su presencia podría estropear u obstruir los equipos mecánicos el paso de la corriente de agua, implementar este tratamiento permite aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores (Metcalf y Eddy, 1995).

“Utilizar este tipo de equipos es recomendable en el tratamiento de aguas industriales, como pueden ser mataderos y en general aquellas aguas residuales con alto contenido en sólidos en suspensión de tamaño de partícula próxima a 1 mm o superiores” (Fernandez, 2015, p. 27).

El tamiz de la PTAR-CMQ como dice Lluma y Mendoza (2016) recibe el agua residual derivado del proceso de faenamiento de los animales bovino, ovino y porcino. El efluente ingresa a la Planta de Tratamiento de aguas residuales por efecto de la gravedad y por una tubería de PVC 8” de alta presión hacia el sistema de tamizado auto limpiante, el mismo que cuenta con una armadura metálica de acero inoxidable y en su interior con una canastilla de recolección de sólidos; también posee un tamiz estático de un haz de luz de acero inoxidable (pp. 31-32).

Tanque de homogenización: Metcalf y Eddy (1995) agrega que se opta por la homogenización en el agua residual para superar los problemas de explotación derivadas de

las variaciones de caudal con el fin de conseguir un caudal regular o casi regular. Este proceso permite mejorar el tratamiento biológico porque se eliminan o minimizan las cargas del choque conjuntamente se estabiliza el pH y esto permite aumentar la eficiencia de las plantas de tratamiento que están sobrecargadas (p. 231).

El tanque de homogenización permite moderar los caudales de forma relevante, previene malos olores y sedimentación de sólidos.

En la PTAR-CMQ el agua residual inmediatamente de pasar por el tamiz ingresa al tanque de homogenización N°1, por una tubería de PVC 8" de alta presión. Este tanque contiene una bomba de gran capacidad y mediante impulsión envía el efluente al separador de sólidos, pasando esta última al tanque de homogenización 2 para continuar con el tratamiento en el Reactor Biológico (Lluma y Mendoza, 2016, p. 33).

Separador de sólidos: es un equipo multifuncional y su función es separar sólidos de gran tamaño del agua residual proveniente del tanque homogeneizador N°1 debido a la diferencia de densidades del agua y los sólidos disueltos y suspendidos, la separación se lo hace por la acción de fuerzas centrífugas (Lluma y Mendoza, 2016, p. 28). Chango y Simbaña (2016, p. 12) sostienen que una vez que el agua residual pasa el separador de sólidos; se retienen y comienza a triturar; después se conduce, por gravedad, el efluente al tanque de homogenización N° 2 mediante tubería de PVC de alta presión.

2.4.2.2. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario utiliza procesos biológicos unitarios, su principal función es la separación de sustancias orgánicas biodegradables y sólidos en suspensión debido a la acción de la actividad biológica.

Reactor biológico: como dice Queralt (2017):

Es el lugar donde se encuentran una serie de microorganismos que degradan la materia orgánica disuelta en el agua. Los microorganismos se encuentran en el licor de mezcla (contenido del reactor), de manera que cuando el efluente entra al reactor degradan la materia orgánica, nitrógeno o fósforo que contiene el agua residual. De este equipo se tiene una corriente de salida, pero hay dos de entrada, una del efluente a depurar y la otra del fango recirculado del decantador secundario. (p. 16)

La PTAR-CMQ según Lluma y Mendoza (2016) posee un reactor tipo convencional de mezcla completa para una aireación en todo el tanque. Al reactor biológico ingresa el agua residual derivada del tanque de homogenización N° 2, se degrada mediante del tratamiento biológico de lodos activados, siendo los microorganismos presentes en el reactor biológico y propios del agua residual del CMQ los que degradan la materia orgánica con la ayuda de cuatro aireadores y cuatro blowers que proporcionan una potencia de 20 HP de aire comprimido de burbuja fina y gruesa, a la vez incitan una mezcla completa para conservar las partículas en suspensión y que la digestión biológica se ejecute apropiadamente (pp. 35-36).

Chango y Simbaña (2016) indican que los aireadores cuentan una potencia precisa para mantener el nivel de oxígeno disuelto en el reactor y el lodo generado debe ser estabilizado previamente para ser trasladado a un botadero acreditado (p. 16).

Sedimentador: la sedimentación consiste en la separación de partículas suspendidas, por la acción de la gravedad, debido a que el peso específico de las partículas es mayor que el agua. Este tratamiento es útil para la separación de arenas, de la materia en suspensión en flóculo

biológico en los sedimentadores o decantadores secundarios en los procesos de fango activado (Metcalf y Eddy, 1995, p. 251).

El objetivo de la sedimentación es obtener un efluente clarificado y sobretodo obtener un fango concentrado de sólidos que permita su fácil tratamiento y manejo.

En la PTAR-CMQ esta operación unitaria inicia cuando “el agua residual proveniente del reactor biológico llega a la tolva de alimentación del sedimentador secundario de la PTAR CMQ, la función de la tolva es frenar la velocidad de ingreso del agua proveniente del reactor biológico” (Lluma y Mendoza, 2016, p. 38).

Los lodos se forman por la agrupación de los flóculos, resultado del metabolismo las bacterias, llegan a sedimentar en el cono inferior por gravedad, “una parte son llevados a la tina de lodos para luego ser recirculados al reactor biológico (caudal de recirculación). Mientras, el resto de lodos considerados residuos son purgados al digestor de lodos (caudal de purga)” (Lluma y Mendoza, 2016, p. 38).

En esta unidad la materia en suspensión tiende a flotar en la superficie por ello cuenta con dos blowers y tres skimmers que actúan como desnatadoras que trasladan el material al reactor biológico, además el soplador dirige al agua clarificada al canal de recolección y mediante vasos comunicantes es guiada al siguiente proceso físico – químico dentro de la planta de tratamiento (Lluma y Mendoza, 2016, p. 38).

Recirculación de lodos: con la recirculación de lodos se logra conservar una concentración de lodos activos en el reactor aerobio que permita lograr el grado de tratamiento requerido. Los lodos activos recirculados desde el sedimentador secundario al reactor aerobio

hacen posible que los microorganismos persistan más tiempo en el reactor que en el agua residual que fluye (Buitrón et. al., 2019, p. 19).

En la investigación de Chango y Simbaña (2016) se resalta los siguientes detalles de la recirculación de lodos en la PTAR CMQ:

- El agua tratada y la biomasa es separada.
- La recirculación de lodo permite el constante proceso que da vida a las bacterias contenidos en el reactor biológico aerobio.
- El caudal de recirculación representa el 50% del caudal de diseño por lo general es constante con el tiempo y su variación se puede dar si se determina que la relación F/M y el IVL no son los correctos para mantener el proceso de degradación de la materia orgánica en el reactor. (p. 18)

2.4.2.3. Tratamiento terciario

Los procesos químicos unitarios llevados a cabo permiten la eliminación o conversión de los contaminantes que no se eliminaron en las etapas anteriores.

Proceso físico químico: este tratamiento se base de principios físicos-químicos para incrementar la remoción de material orgánico residual y otras sustancias no eliminadas en procesos anteriores, su objetivo es convertirlas en partículas capaces de ser separadas al adicionar productos químicos.

Lluma y Mendoza (2016) describen que en la PTAR-CMQ el agua clarificada que se obtiene del sedimentador secundario es enviada al tanque físico-químico. Este proceso se encarga que la parte del material en suspensión que no precipitó en procesos anteriores sean removidos en el área de sedimentación del tanque físico-químico mediante la adición de un

coagulante con una bomba dosificadora con el objetivo de formar flóculos de mayor tamaño. Los lodos sedimentados son acumulados al fondo de la cuba, permaneciendo retenidos en un manto de lodos, donde son purgados y bombeados al tanque de recirculación de lodos (p. 41).

Tapia (2015) manifiesta que el coagulante que se utiliza dentro de este proceso en la PTAR CMQ es el policloruro de aluminio, por lo general la dosificación se mantiene con 0,1 mg/L aunque varía según el nivel de sólidos disueltos (citado en Chango y Simbaña, 2016, p. 19).

Por último, para la desinfección del efluente se le dosifica con hipoclorito de calcio en presentación granular, previamente disuelto en agua para ser incorporado a través de una bomba dosificadora en todo el día (Chango y Simbaña, 2016, p. 18).

Filtración: Metcalf y Eddy (1995) sostiene lo siguiente:

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que ocurre a través de un medio filtrante poroso, el cual retiene el sólido y deja pasar el líquido, esta es la operación final para su clarificación.

El proceso de filtración se emplea principalmente para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) de los efluentes provenientes de procesos de tratamiento biológico y químico, también para la eliminación del fósforo precipitado por vía química. (p. 238)

En la PTAR CMQ, Lluma y Mendoza (2016) sostienen que el efluente saliente del proceso físico - químico se incorpora a un sistema de filtros rápidos a presión con la ayuda de dos bombas centrífugas. La planta dispone de 2 tanques para filtrado, cada filtro tiene como lecho filtrante multicapas con: andrasita, zeolita, arena de cuarzo y grava gruesa tipo piedra. En el

filtro se conserva todo el material en suspensión que no se removió en los procesos previos. Finalmente, el agua filtrada es evacuada al sistema de alcantarillado (p. 42-43).

Tratamiento de lodos: como menciona Chango y Simbaña (2016):

Es complejo debido a que contiene sustancias responsables de la contaminación de las aguas residuales no tratadas, la fracción del lodo a evacuar generada en el tratamiento biológico del agua residual está sujeta a procesos de descomposición que la pueden hacer indeseable, y solo una pequeña parte del lodo está compuesta por material sólido.

Dentro del tratamiento de lodos la posibilidad de reducción de compuestos orgánicos y compuestos orgánicos volátiles contenidos ocurre al someter a los lodos a una digestión aerobia o anaerobia. (p. 39)

Digestor aerobio: su diseño permite según Lluma y Mendoza (2016):

Estabilizar aeróbicamente el lodo activado de desecho del fondo del sedimentador secundario. El lodo se sujeta a una aireación prolongada para pasar por respiración endógena y con eso se auto-estabiliza, y ocasiona que no tenga ningún olor residual. Son llevados en tanques y deshidratado en camas de secado.

En la PTAR-CMQ los lodos de exceso provenientes del sedimentador secundario y tanque físico-químico, ingresan a un digestor aerobio. El tanque de digestor aerobio cuenta con una estructura de hormigón armado en la que se trata el lodo aeróbicamente con la ayuda de un aireador superficial asentado en una boya flotante. El lodo permanece en digestión aproximadamente, entre 8 – 10 horas, posteriormente el lodo digerido, es purgado a gravedad al alcantarillado. (p. 37)

2.5. Normativa legal ambiental de descargas hídricas en el Ecuador

El Ecuador cuenta con una normativa legal vigente exclusiva en materia de gestión ambiental, incluido el uso y descarga del agua, emisiones atmosféricas, uso de la energía, residuos sólidos domésticos, industriales, peligrosos y en general todos los temas relacionados con el cuidado ambiental y direccionados a lograr un desarrollo sostenible.

En el 2008 entra en vigor la Constitución del Ecuador, es la principal norma suprema en el país y sobresale sobre cualquier otra del ordenamiento jurídico, vigente en la actualidad. La misma establece normas primordiales que amparan los derechos, deberes y obligaciones de todos los ecuatorianos. Particularmente en la última ratificación se resalta y reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Además, expresa el derecho de acceso a la justicia y el amparo judicial efectiva en temas ambientales.

Las empresas, obras y/o actividades en el Ecuador que generen un impacto ambiental bajo y mediano tienen la obligación de regirse a lo que estipula la normativa ambiental vigente. Como es el resolver, mitigar o prevenir los aspectos e impactos ambientales que ocasionan las empresas, obras y/o actividades.

Dentro del Camal Metropolitano de Quito se realizan actividades de faenamiento y comercialización de especies animales para el consumo humano, de estas actividades se obtienen efluentes con altas cargas contaminantes las mismas que para ser descargadas en el alcantarillado o cuerpo hídrico deben cumplir parámetros de calidad ambiental, dichos valores son establecidos por la autoridad ambiental a nivel nacional y distrital. Se proyecta la Planta de Tratamiento de Agua Residuales Rastro con el objetivo de minimizar la carga contaminante del efluente y así cumplan con parámetros de calidad ambiental establecidos en los límites permisibles mencionados en las siguientes normativas:

- Acuerdo Ministerial N° 097-A del TULSMA Libro VI Anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, como señala el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2015):

El principal objetivo de esta norma es preservar y controlar la contaminación ambiental y proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Además, establece los límites permisibles para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado y los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado de actividades industriales o productivas, de servicios públicos o privado a nivel nacional. (p. 5)

- Ordenanza municipal 0136 NT002 Norma Técnica para el control de descargas líquidas, como señala la Secretaría de Ambiente de Quito (2014):

El objetivo de esa norma es proteger la calidad del recurso agua para sus diversos usos y salvaguardar a las personas, los ecosistemas y el ambiente en general. Esta norma dispone los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes en los efluentes líquidos de origen industrial, comercial y de servicios, vertidos al sistema de alcantarillado y cauces de aguas, dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Muestreo en campo

El proceso de toma de muestras se basó en lo determinado en la norma NTE INEN 2176 (2013) “AGUA, CALIDAD DEL AGUA, MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO”, con esta norma se definió el procedimiento a llevar a cabo en la toma de muestras puntuales del agua residual del

reactor biológico de PTAR-CMQ, debido a que los horarios establecidos por las autoridades y/o personal encargado de la planta, fueron limitados.

En esta sección se tomó la muestra en la entrada del proceso biológico y otra a la salida del mismo, en un periodo de 4 días en el mes de mayo, en horas de la mañana.

En el procedimiento se utilizó los siguientes materiales:

Tabla 5
Materiales para el proceso de muestreo en campo

Material	Característica	Equipo de seguridad
Botellas polietileno	Capacidad de 3 L	Mascarilla kn95
Guantes	Caucho/quirúrgicos	
Marcador	Permanente	
Etiquetas adhesivas		
Mandil		
Reloj		
Cooler		

Nota. Esta tabla enlista los materiales que se utilizaron para la toma de muestras de aguas residuales dentro de la Planta de Tratamiento del Camal Metropolitano de Quito.

En los muestreos en el reactor biológico de la PTAR-CMQ se optó por utilizar guantes de plástico para evitar contaminar las muestras. A continuación, se realizó un triple lavado de las botellas de 3 L y con el mayor cuidado para no soltar las botellas en la zona de mayor turbulencia se tomaron las muestras en un tiempo entre 2 y 3 minuto, en este punto se midió el pH y OD con el respectivo equipo en campo. Las botellas se llenaron con agua residual hasta el tope y se cerraron correctamente para evitar alguna filtración. Finalmente se etiquetó las botellas con un marcador

permanente y a prueba de agua o etiquetas adhesivas indicando el sitio de muestreo, la fecha y hora.

Figura 7

Toma de muestras en el reactor biológico



Nota. En esta imagen se observa cómo se tomaron las muestras en el reactor biológica para su posterior transporte y análisis.

El procedimiento se repitió dos veces: la primera vez es para conocer el estado de depuración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Rastro en el mes de mayo y la segunda ocasión se tomó las muestras después de la inoculación del coctel de bacterias de los microorganismos pertenecientes a la marca AC-MICRO en el mes de junio.

3.1.1. Transporte de las muestras

El transporte de las muestras desde la PTAR-CMQ hacia el Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Sur, se realizó como lo señalado en el Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, (IDEAM) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial de La República de Colombia, el mismo señala que las muestras deben ser colocadas dentro del cooler lo más ordenado posible y prontamente ser transportadas a su lugar de destino.

El total de las muestras se almacenaron en el área de refrigerado del laboratorio de aguas residuales para evitar alterar las características de la muestra. Tal como lo señala IDEAM (2017) que para la medición especialmente de los parámetros de DQO, nitratos y turbidez se debe tener un tiempo de refrigeración entre 24-48 horas máximo para su respectivo análisis (p. 6).

3.2. Análisis en laboratorio

En el análisis físico químico de las muestras de aguas residuales realizadas en el Laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Sur, se utilizó los métodos señalados en la norma “Métodos Estandarizados para el Análisis de Agua y Agua Residual” (Standar Methods, 2017).

Los parámetros analizados en el laboratorio fueron DQO, nitratos, fosfatos, DBO₅, turbidez e SST, este último necesario para calcular el IVL. En cuanto a la medición de la turbidez no se logró medir en campo debido a que el equipo que se utiliza especialmente en campo tuvo problemas en la calibración.

A continuación, se detalla los métodos, los equipos y los materiales que se utilizaron en el laboratorio para medir cada una de las muestras de aguas residuales tomadas en la entrada y salida del reactor biológico.

Tabla 6*Métodos, equipos y materiales de los análisis físicos y químicos*

Parámetro	Método	Equipos	Materiales
pH	Método electrométrico	pH metro	Vaso de precipitación
Oxígeno Disuelto (OD)	Método electrométrico	Medidor de oxígeno	Vaso de precipitación
Turbidez	Método electrométrico	Turbidímetro HI 98703	Vial
DBO ₅	MAM-28/APHA 5210 B MODIFICADO	Incubadora, sensores, plancha y agitador magnético	Botellas Winkler, matraz aforado
Nitratos	Método colorimétrico	Espectrofotómetro	Viales y reactivo de nitratos
Fosfatos	Método colorimétrico	Espectrofotómetro	Viales y reactivo de fosfatos
Índice Volumétrico de Lodos (IVL)	MAM-28/APHA 2710 D MODIFICADO	Estufa, mufla, desecador, cono imhoff, bomba de vacío, balanza analítica	Probeta graduada, pinzas metálicas, filtros de fibra de vidrio, embudo buchner.
DQO	MAM-28/APHA 5220 D MODIFICADO	Espectrofotómetro, viales de DQO, digestor	Jeringa de 10 ml

Nota. Esta tabla enlista los métodos equipos y materiales de los análisis físicos y químicos que se realizaron en el laboratorio de aguas residuales de la Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de Métodos estandarizados para el análisis de agua y agua residual, 2017.

3.2.1. Métodos

A continuación, se describe cada uno de los procedimientos que se llevó a cabo para obtener los valores de cada parámetro:

- **Potencial hidrógeno**

Para el análisis del potencial de hidrógeno se utilizó un medidor que determina varios parámetros pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, potencial de óxido reducción y temperatura marca Hanna HI 98130. Primero se tomó una muestra de agua residual en un vaso de precipitación hasta un volumen de 500 mL, se debe limpiar la sonda con agua destilada antes de introducirla a la muestra y así obtener valores certeros (González, 2015).

- **Oxígeno disuelto**

Para el análisis del oxígeno disuelto se utilizó un medidor portátil impermeable de oxígeno disuelto (OD) y DBO HI 98193 marca Hanna. Primero se calibró el equipo, luego se limpió la sonda con agua destilada para introducir a la muestra (Mayari et. al., 2005, p. 3).

- **Turbidez**

En el análisis de la turbidez se utilizó un turbidímetro HI 98703 marca Hanna. Inicialmente se encendió el equipo para lo que se colocó en la cubeta un blanco con 10 mL de agua destilada. Para obtener el resultado de la muestra se preparó un vial con agua residual y después se colocó en la cubeta y su valor se obtuvo con la tecla read, en unidades de UNT (Lenntech Water Treatment, s.f.).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Este parámetro se analizó con el uso de un fotómetro multiparamétrico marca Hanna HI 83399. Primero se preparó los viales de DQO de alto rango, se inyectó 2 mL de agua destilada con la ayuda de una jeringa en los viales, se lo agitó suavemente y se los colocó en una gradilla.

El vial se preparó de la muestra repitiendo el anterior procedimiento y para la incubación de los viales se prendió el digestor por 2 horas a una temperatura de 150 °C. Después del tiempo de incubación, se apagó el digestor y se retiró lo viales. Los viales se dejaron en reposo por 20 minutos y a temperatura ambiente en la gradilla.

Para encerrar el equipo multiparamétrico se escogió el método de alto rango, después se colocó en la cubeta vial blanco y seleccionar la opción zero. Finalmente para obtener la lectura del dato se colocó el vial con la muestra en la cubeta y seleccionar la opción read (Ramos, 2019).

- **Nitratos**

En el análisis de los nitratos se utilizó un fotómetro multiparamétrico marca Hanna HI 83399. El primer paso es encerrar el equipo por ende se colocó en la cubeta un vial blanco de 10 mL con agua destilada y posterior la opción zero del equipo. Para la lectura de la muestra se preparó el vial con esta muestra más el reactivo de nitrato marca Hanna HI93728-0, se colocó el vial en la cubeta y se seleccionó la opción read (Molina, 2010, pp. 37-38).

- **Fosfatos**

En el análisis de los fosfatos se utilizó un fotómetro multiparamétrico marca Hanna HI 83399. El equipo se debe encerrar para ello se colocó en la cubeta un vial blanco de 10 mL con agua destilada y se presionó zero. Para la lectura de la muestra se preparó el vial con agua residual más

el reactivo de nitrato marca Hanna HI93728-0, se colocó el vial en la cubeta y seleccionar la opción read (Molina, 2010, p. 46).

- **Índice Volumétrico de Lodos (IVL)**

El primer paso es medir los Sólidos Suspensión Totales (SST); para este procedimiento se preparó el disco de fibra de vidrio para poner en el crisol, posterior se colocaron en un horno a 103-105 °C durante una hora. Después se situó el crisol y el filtro en un desecador hasta poder utilizarlo. A continuación, se encendió y enceró la balanza analítica; se realizó la primera medición y se vuelve a colocar el crisol en el desecador.

Se colocó el disco y el crisol en el equipo de filtración, y aplicar vacío. Con una probeta medir el volumen de muestra de agua residual para este análisis. A continuación, la muestra bien homogenizada se filtra a través del disco. Se suspendió el vacío y finalmente se secó el crisol en el horno a una temperatura de 150 °C en un tiempo de 24 horas, transcurrido este tiempo se sacó el crisol y se dejó enfriar en el desecador a temperatura ambiente y determinar su masa pesando en la balanza analítica (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial de México, 2000).

Ecuación 2

Sólidos suspendidos totales

$$\text{Sólidos suspendidos totales (g/mL)} = \frac{(A - B)}{V}$$

A = peso de filtro y crisol + residuo seco, g

B = peso del filtro y crisol, g

V = volumen de muestra, mL

Para obtener el índice volumétrico de lodos se requiere los valores de los sólidos totales en suspensión y el volumen de lodos sedimentados en la probeta de una muestra de 1 litro después de 30 minutos, se expresa en la siguiente fórmula:

Ecuación 3

Índice volumétrico de lodos

$$IVL\left(\frac{ml}{g}\right) = \frac{\text{Volumen de lodos sedimentables (ml)}}{\text{Sólidos Totales en suspensión (g)}}$$

Los resultados de IVL se clasificaron en base a la tabla elaborada por Grady et al. (1999), citado en Ferrara-Giner y Ramírez (2013) que resume las relaciones típicas entre IVL y las características de sedimentación de los lodos activos.

Tabla 7

Relaciones entre el IVL y las características de sedimentación de los lodos activados

Rango de IVL mL/g	Características de compactación y de sedimentación de los lodos activos
< 80	Excelente
80-150	Moderado
>150	Pobre

Nota. En esta tabla se muestran las características de los IVL. Copyright 2013 por Ferrara-Giner y Ramírez.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Para el análisis de la DBO₅ se empleó el Método Winkler. Primero se preparó agua de dilución en una pecera añadiendo 1L de agua más 1 mL de las siguientes soluciones: regulador de fosfatos de pH 7.2, MgSO₄, CaCl₂, FeCl₃ conjuntamente se inyectó oxígeno durante 1 hora con aireadores de burbuja fina. A continuación, se mezcló 3 mL de agua residual con el agua de dilución previamente oxigenada y se aforó hasta 1000 ml en un balón aforado.

Se dispuso en botellas Winkler de 300 mL toda la dilución preparada anteriormente y en base a la referencia de Metcalf y Eddy (1995) la medición del oxígeno disuelto se realizó antes y después de llevarlos a una incubadora durante 5 días.

Los resultados de la DBO₅ se obtuvieron utilizando la siguiente fórmula, como lo propone Metcalf y Eddy (1995):

Ecuación 4

Demanda biológica de oxígeno

$$\frac{DBO, mg}{l} = \frac{(D_1 - D_2)}{P}$$

Donde;

D_1 = oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación de la misma, en $\frac{mg}{l}$.

D_2 = oxígeno disuelto de la muestra diluida tras 5 días de incubación a 20 °C, en mg/l.

P = fracción volumétrica de muestra empleada

3.3.Acondicionamiento de las bacterias

Para realizar el acondicionamiento de las bacterias directo en el reactor biológico de la Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito. Primero se llevó a cabo replicar el funcionamiento y operación del reactor aerobio y el sistema de blowers, en este procedimiento se utilizaron los siguientes materiales y sistemas.

Tabla 8*Materiales y equipo para el acondicionamiento de las bacterias*

Reactor aerobio-Materiales	Sistema de aireación-quiopo
Una piscina de vidrio de dimensiones 0,21m x 0,518m x 0,192m de capacidad de 20 L	Aireadores de cerámica de burbuja fina marca JAD S-2000.
Envases de 1 L	
Un vaso de precipitación de 1500 mL	
Una poma verde de 22 L de capacidad	

Nota. En esta tabla se muestra los materiales que se utilizaron *el acondicionamiento de las bacterias*

En el procedimiento de acondicionamiento de las bacterias, citando a Carrasquero et al. el primer paso es obtener una fuente de lodos; se recogió de manera manual los lodos de la tina de retorno ubicado en frente del reactor biológico en el tanque de homogenización primario en envases de 1 L. Los componentes restantes como sustrato, agua residual y agua industrial, se recogieron del tanque de homogenización primario, reactor biológico y pozo subterráneo, respectivamente (2014).

Los componentes recolectados y el lodo del tanque de homogenización conjuntamente con la bacteria líquida AC MICRO, para su mezcla se colocaron en un recipiente y fue sometida a un proceso de aclimatación con aireación continua durante ciclos de 24 horas.

Carrasquero et. al., (2014) y obtener así un coctel de bacterias para su posterior inoculación. Esta mezcla se realizó en la pecera, en el vaso de precipitación de 1000 mL y en un bidón de 20 L.

Los componentes que se inocularon en diferentes recipientes, se detallan en las tablas 9, tabla 10 y tabla 11.

Tabla 9*Mezcla de componentes en pecera*

Fecha	Hora	Componente	Cantidad (mL)	pH	OD (mg/L)	Aireadores	Temperatura (°C)
25-05-2021	9:00	Lodo	400	7.16	0.99	3	23
		Sustrato	400				
		H ₂ O industrial	400				
		H ₂ O residual	100				
28-05-2021	9:00	Mezcla de componentes	1300	8.73	1.91	3	23
		Ac Micro	100				
01-06-2021	9:00	Mezcla de componentes	1400	8.99	2.25	2	22
		Ac Micro	150				
03-06-2021	9:00	Mezcla de componentes	1550	10.17	4.17	2	23
		Ac Micro	200				
		Mezcla de componentes	1750				
08-06-2021	9:00	Lodo	500	8.21	3.85	2	23
		Sustrato	500				
		Ac Micro	100				
		H ₂ O residual	3000				
		Mezcla de componentes	4100				
14-06-2021	9:00	Lodo	500	8.45	4.45	2	23
		Sustrato	500				
		Agua residual	2450				
		Ac Micro	100				
		Mezcla de componentes	3550				
15-06-2021	9:00	Lodo	3470	8.08	0.20	-	23.6°
		Sustrato	1500				
		Agua residual	2000				
		Ac Micro	130				
		Mezcla de componentes	7100				

Nota. Esta tabla muestra un listado detallado de los componentes y las cantidades que se añadió a la pecera además de las características de la mezcla en cada fecha.

Tabla 10*Mezcla de componentes en un vaso de precipitación de 1000 mL*

Fecha	Hora	Componentes	Cantidad (mL)	pH	OD (mg/L)	Aireadores de burbuja fina	Temperatura (°C)
28-05- 2021	11:00	Lodo	100	7.43	2.71	1	23
		Sustrato	100				
		Agua residual	200				
01-06- 2021	9:30	Mezcla total	400	4.96	4.05	1	22
		Agua industrial	200				
		Ac Micro	150				
		Agua residual	200				
03-06- 2021	11:30	Mezcla total	850	10.23	2.24	1	22
		Ac Micro	250				
		Mezcla total	1250				

Nota. Esta tabla muestra un listado detallado de los componentes y las cantidades que se añadió en el vaso de precipitación de 1000 mL, además de las características de la mezcla en cada fecha.

Tabla 11

Mezcla de componentes en un bidón de 20 L

Fecha	Hora	Componentes	Cantidad (mL)	OD (mg/L)	pH	Aireadores de burbuja fina	Temperatura (°C)
17- 06- 2021	9:00	Lodo	3000	2.55	5.35	2	16.4 °C
		Sustrato	1050				
		Agua residual	500				
		Ac Micro	600				
		Agua industrial	1570				
		Mezcla	6720				

Nota. Esta tabla muestra un listado detallado de los componentes y las cantidades que se añadió en el bidón de 20 L además de las características de la mezcla en cada fecha.

3.4. Inoculación bacteriana al reactor biológico

Antes de las inoculaciones se revisaron los parámetros del reactor biológico para constatar que el pH se encontraba en un rango de pH entre 6 y 8, debido a que este permite un óptimo crecimiento de microfauna (Madoni, 1993) y el tanque de aireación en un rango de oxígeno disuelto entre 1.0 y 2.0 mg/L (Buitrón, Carrera y Reino, 2019, pág. 18).

Después de la verificación de los valores de pH y oxígeno disuelto se inocularon las concentraciones del coctel bacteriano directamente al reactor biológico.

A continuación, se describe la cantidad de coctel de bacterias inoculada en el reactor biológico:

Tabla 12*Descripción de la mezcla de componentes inoculados*

N° Inoculación	Fecha (2021)	Cantidad de mezcla de componentes
1	8 de junio	Mezcla de componentes del día 3 de junio de 2021; de la pecera con volumen de 1750 mL y del vaso de precipitación con volumen 1250 mL.
2	12 de junio	Mezcla de componentes de la pecera de fecha 8 de mayo de 2021 con volumen de 4100 mL
3	15 de junio	Mezcla de componentes de la pecera del día 14 de junio de 2021 con volumen de 3550 ml.
4	17 de junio	Mezcla de componentes de la pecera del día 15 de junio de 2021 con volumen de 7100 mL.
5	23 de junio	Mezcla de componentes del bidón del día 17 de junio de 2021 con volumen de 6720 mL

Nota. En esta tabla se describe las cantidades que se inocularon

3.5. Identificación de los microorganismos en el coctel bacteriano

Para la identificación de los microorganismos presentes en el coctel de bacterias se utilizó un microscopio óptico dotado con una cámara digital y con contraste de fases modelo Micros con objetivos de 4x, 10x y 100 x. La observación microbiológica se realizó en vivo sobre muestras de fango activo a diferentes aumentos (4x y 10x principalmente). El proceso se inició homogenizando la muestra agitando suave para evitar alterar la estructura flocular. Después de homogenizada la muestra se tomó una alícuota del mismo de 50-100 mL con una pipeta volumétrica, se depositó la misma en un portaobjetos, se cubrió la gota con un cubreobjetos de 24 x 24 mm o 24 x 32 mm y se procedió a observar la muestra a 4x o 10x aumentos (Madoni, 1993).

Para la identificación de los grupos taxonómicos de microorganismos se utilizó la Guía Metodológica para la elaboración de Análisis Microbiológicos de Fangos Activados de EDARS (2003).

3.6.Eficiencia de remoción

Para el análisis de eficiencia de remoción de cada uno de los parámetros antes y después de la inoculación de microorganismos marca AC-MICRO, con los valores alcanzados de los parámetros físico-químicos: pH, OD, DBO₅, nitratos, fosfatos, IVL, DQO, se calculó el porcentaje de remoción.

Peña et al. (2015) proponen la siguiente fórmula:

Ecuación 5

Porcentaje de remoción

$$\text{Porcentaje de remoción (\%R)} = \frac{VP_i - VP_f}{VP_i} * 100\%$$

Donde;

VP_i = Valor de parámetro inicial.

VP_f = Valor de parámetro final (p. 161).

El análisis estadístico de los resultados de los porcentajes de remoción en el reactor biológico antes y después de la inoculación con los microorganismos de la marca AC-MICRO, se realizó con las siguientes pruebas:

- **Pruebas de Shapiro Test.**

Es una prueba de contraste para determinar una distribución normal, es utilizada cuando el tamaño de la muestra es igual o inferior a 50 (Romero, 2016). Permite evaluar si los

tratamientos, en este caso los valores que se obtuvieron antes y después de la adición de microorganismos de los parámetros físico químico, siguen o no una distribución normal. Carollo (2012) recalca que si los datos siguen una distribución normal deben tener un p-value igual o mayor a 0,05.

La prueba de Shapiro Wilk se llevó a cabo mediante el programa estadístico RStudio y empleando el paquete Nortest.

Parada (2019) indica a las hipótesis estadísticas, a continuación:

H_0 : La variable presenta una distribución normal

H_1 : La variable presenta una distribución no normal

Y para la toma de decisión, se basa lo siguiente:

La población tiene una distribución normal cuando: $p \text{ valor} > \alpha$: No rechazar H_0 .

La población no tiene una distribución normal cuando: $p \text{ valor} < \alpha$: Rechazar H_0 .

Al determinar si las muestras tienen o no una distribución normal, se procede a realizar con la siguiente prueba:

- **Prueba de Fligner-Killeen**

La prueba Fligner-Killeen es la mejor opción cuando los datos no cuentan con una distribución normal o cuando se presenta problemas relacionados con los valores atípicos en el conjunto de datos que no pueden ser resueltos (García y Ortiz, 2017). Este test comprueba la homogeneidad de las varianzas, según Amat (2016) básicamente compara las varianzas basándose en la mediana. Crawley (2013) indica que cuando el p-value es menor que 0.05 existen diferencias significativas entre las varianzas.

3.7. Estudio de sostenibilidad económico del tratamiento biológico

El estudio de sostenibilidad se realizó para conocer los costos de inversión al inocular microorganismos de la marca AC-MICRO mediante la adición del coctel de bacterias de la marca AC-MICRO en el reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Metropolitano de Quito, con el fin de aumentar la eficiencia del proceso biológico.

3.6.1 Cálculo de volumen de agua residual del reactor biológico

El volumen del agua residual que ingresa al reactor biológico se calculó en base al caudal promedio de las 5 inoculaciones que se registraron en el panel eléctrico de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Empresa Pública Metropolitana de Rastro Quito.

Ecuación 6

Volumen mensual de agua a tratar

Volumen (m^3) de agua a tratar mensualmente =

Total de horas de permanencia de bacterias x Caudal promedio (Q_m)

3.6.2 Cálculo de costo de agua a tratar

El costo de agua a tratar se calculó multiplicando la cantidad de microorganismos Ac Micro por el costo del galón de Ac Micro y se dividió para la cantidad de m^3 de agua a tratar por el galón de Ac micro en unidad de mL.

Ecuación 7

Costo por m^3 de agua tratada

Costo por m^3 de agua tratada

$$= \frac{\text{Cantidad de microorganismos inoculados} \times \text{costo galón Ac - Micro}}{\text{Cantidad de } m^3 \text{ de agua a tratar} \times \text{galón Ac micro}}$$

3.6.1 Costo anual de inoculación de microorganismos AC-MICRO

Se calculó el costo anual de inoculación de microorganismos AC-MICRO multiplicando el costo de m³ de agua tratada por el caudal máximo de ingreso al reactor biológico del Camal Metropolitano por 24 horas por 5 días de inoculación en un mes por 12 meses.

Ecuación 8

Costo anual de inoculación de microorganismos AC-Micro

Costo anual de inoculación

= *Costo por m³ de agua tratada x caudal máximo de ingreso al Reactor x 24 horas x 5 días x 12 meses*

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del estado inicial del reactor biológico

En esta sección se presentan los valores adquiridos del análisis que se llevó a cabo dentro del laboratorio de aguas residuales de la Universidad Politécnica Salesiana, de cada uno de los parámetros de las muestras tomadas de la PTAR-CMQ, antes del proceso de inoculación del coctel de bacterias.

Las muestras tomadas de la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico en 4 días; se analizaron 6 veces para obtener los resultados en cada parámetro y se obtuvo media (\bar{X}) para determinar la mínima y máxima.

En los parámetros de turbidez, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, fosfatos y nitratos se calculó el porcentaje de remoción, con los valores de la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico de los 4 días de muestreo.

$$\text{Porcentaje de remoción (\%R)} = \frac{E - S}{E} * 100\%$$

- **Potencial hidrógeno (pH)**

Tabla 13

Resultados de pH de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación

Fecha (2021)	14 de mayo		20 de mayo		21 de mayo		25 de mayo	
N°	E	S	E	S	E	S	E	S
1	6.33	5.59	9.18	6.63	7.03	6.87	8,61	7,71
2	5.73	5.58	9.19	6.78	7.06	6.75	8,58	7,58
3	5.68	5.56	9.29	6.77	7.15	7.08	8,51	7,57
4	5.63	5.58	9.32	6.79	7.19	7.1	8,49	7,56
5	5.6	5.59	9.33	6.8	7.2	7.13	8,49	7,55
6	5.6	5.59	9.26	6.76	7.22	7.14	8.48	7,54
\bar{X}	5.76	5.58	9.26	6.76	7.14	7.01	8.53	7.59

Nota: En esta tabla se muestra los resultados de los valores de pH de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico.

Los resultados promediales de pH en la entrada son: mínimo de 5.76 y máximo de 9.26, de salida son: mínimo de 5.58 y máximo de 7.59.

- **Turbidez**

Tabla 14

Resultados de turbidez de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación

Fecha (2021)	14 de mayo			20 de mayo			21 de mayo			25 de mayo		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	(UNT)			(UNT)			(UNT)			(UNT)		
1	508	98	80.71	829	78	90.59	823	520	36.81	680	71	89.56
2	504	98	80.56	833	77	90.76	772	526	31.86	664	71	89.31
3	503	99	80.32	831	76	90.85	780	550	29.48	675	71	89.48
4	506	107	78.85	846	69	91.84	784	550	29.84	676	72	89.35
5	548	106	80.66	839	70	91.66	783	552	29.50	668	71	89.37
6	508	107	78.94	837	69	91.76	785	517	34.14	669	73	89.09
\bar{X}	512.83	102.50	80.01	835.83	73.17	91.24	787.83	535.83	31.94	672	71.50	89.36

Nota: En esta tabla se despliega los resultados de turbidez tomadas de las muestras en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y el porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de turbidez en la entrada son: mínimo de 512.83 UNT y máximo de 835,83 UNT, de salida: mínimo de 71,50 UNT y máximo de 535.83 UNT y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 31.94% y máximo de 91.24%.

- **Oxígeno disuelto (OD)**

Tabla 15

Resultados de OD de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación

Fecha (2021)	14 de mayo			20 de mayo			21 de mayo			25 de mayo		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	1.9	0.75	60.53	0.43	0.13	69.77	1.58	0.1	93.67	0.89	0.12	86.52
2	2.1	0.73	63.24	0.32	0.14	56.25	1.50	0.13	91.33	0.72	0.29	59.72
3	2.4	0.76	68.33	0.29	0.11	62.07	1.18	0.09	92.37	0.73	0.31	57.53
4	2.3	0.7	69.57	0.29	0.1	65.52	1.33	0.03	97.74	0.62	0.21	66.13
5	2.2	0.65	10.45	0.31	0.23	25.81	1.26	0.07	94.44	0.79	0.3	62.03
6	2.2	0.66	70	0.30	0.27	10	1.31	0.03	97.71	0.89	0.32	64.04
\bar{X}	2.18	0.71	67.35	0.32	0.16	48.24	0.36	0.08	94.55	0.77	0.26	66

Nota: En esta tabla se muestra los resultados de OD de las muestras en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y del porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de OD en la entrada son: mínimo de 0.32 mg/L y máximo de 2.18 mg/L, de salida: mínimo de 0.08 mg/L, máximo de 0.71 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 48.24% y máximo de 94.55%.

- **Fosfatos**

Tabla 16

Resultados de fosfatos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación

Fecha (2021)	14 de mayo			20 de mayo			21 de mayo			25 de mayo		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	2.5	2.35	6	2.5	1.90	24	2.5	2.31	7.6	2.5	2.1	16
2	2.5	2.46	1.6	2.5	1.97	21.2	2.5	2.4	4	2.5	2.45	2
3	2.5	2.5	0	2.5	2.12	15.2	2.5	2.14	14.4	2.5	2.1	16
4	2.5	2.1	16	2.5	2.45	2	2.5	1.45	42	2.5	2.32	7.2
5	2.5	2.32	7.2	2.5	1.67	33.2	2.5	2.13	14.8	2.5	2.1	16
6	2.5	2.38	4.8	2.5	1.82	27.2	2.5	2.24	10.4	2.5	2.1	16
\bar{X}	2.5	2.35	5.93	2.5	1.99	20.47	2.5	2.11	15.53	2.5	2.2	12.20

Nota. En esta tabla se muestra los datos que se obtuvieron de las muestras tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y del porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de fosfato en la entrada es de 2.5 mg/L de todas las muestras y de salida: mínimo de 2.11 mg/L y máximo de 2.35 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 5.93% y máximo de 20.47%.

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)**

Los resultados de oxígeno disuelto de las muestras; diluida inmediatamente después de la preparación de esta (D1) y diluida tras 5 días de incubación a 20°C (D2), mg/L.

Tabla 17*Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual de día 14 de mayo de 2021*

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	1.78	2.03	1.9	2.03
2	1.74	2.12	2.1	2.12
3	1.72		2.4	
4	1.7		2.3	
5	1.68		2.2	
6	1.72		2.18	

*Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual de día 14 de mayo de 2021***Tabla 18***Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual de día 20 de mayo de 2021*

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	5.18	5.69	5.25	5.55
2	5.25	5.63	5.95	5.53
3	5.3	5.6	6.1	5.52
4	5.39	5.6	6.03	5.4
5	5.31	5.61	6.07	5.38
6	5.286	5.63	5.88	5.48

Nota. Esta tabla muestra los valores de OD del día 20 de mayo de 2021.

Tabla 19*Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual de día 21 de mayo de 2021*

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	5.01	5.1	6.14	4.93
2	4.82	5.5	6.12	3.79
3	4.77	6.2	6.13	4.36
4	5.24	5.4	6.11	4.74
5	5.18	4.8	6.15	4.72
6	5	4.90	6.13	4.7

Nota. Esta tabla muestra los valores de OD del día 21 de mayo de 2021.**Tabla 20***Valores de OD mediante método Winkler de la muestra de agua residual de día 21 de mayo de 2021*

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	5.50	6.18	5.72	5.82
2	5.43	6.22	5.77	5.87
3	5.51	6.19	5.83	5.89
4	5.52	6.17	5.8	5.85
5	5.46	6.22	5.76	5.84
6	5.48	6.29	5.78	5.82

Nota. Esta tabla muestra los valores de OD del día 25 de mayo de 2021.

Los valores de OD se reemplazan en la siguiente fórmula y se obtuvo el valor de la DBO_5 .

$$DBO_5 = \frac{(D_1 - D_2)}{f} = \frac{(2.03 - 1.78) \text{ mg/L}}{0.99}$$

$$DBO_5 = 40 \text{ mg/L}$$

Tabla 21

Resultados de DBO₅ de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción.

Fecha (2021)	14 de mayo			20 de mayo			21 de mayo			25 de mayo		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	40,00	37,00	7,50	425	101	76,24	394	108	72,59	42	34	19,05
2	59,00	11,00	81,36	406	186	54,19	362	101	72,10	52	32	38,46
3	93,00	47,00	49,46	413	188	54,48	381	27	92,91	42	40	4,76
4	95,00	37,00	61,05	427	248	41,92	326	106	67,48	37	33	10,81
5	57,00	47,00	17,54	427	247	42,15	300	28	90,67	41	26	36,59
6	69,00	31,40	54,49	419,6	161	61,63	352,6	74	79,01	41	34,6	15,61
\bar{X}	68,83	35,07	45,23	419,60	188,50	55,10	352,60	74,00	79,13	42,50	33,27	20,88

Nota: En esta tabla se exponen los resultados de OD del agua residual en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y del porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de DBO₅ en la entrada son: mínimo de 42.50 mg/L y máximo de 419.60 mg/L, de salida son: mínimo de 33.27 mg/L y máximo de 188.50 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 20.88% y máximo de 79.13%.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Tabla 22

Resultados de DQO de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción.

Fecha (2021)	14 de mayo			20 de mayo			21 de mayo			25 de mayo		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	434	100	76.96	2178	1536	29.48	9498	2316	75.61	4545	36	99.20
2	6270	83	98.68	3026	2716	10.24	5651	5495	2.76	5954	157	97.36
3	5592	69	98.77	3484	469	86.54	5424	3513	35.23	517	45	91.29
4	3591	56	98.44	3172	545	82.82	8848	6775	23.42	3772	23	99.39
5	2311	174	92.47	2721	623	77.10	4352	3559	18.22	4720	1067	77.39
6	3267	88	97.31	2705	113	95.82	6755	4332	35.87	5201	265	94.90
\bar{X}	3577	95	93.77	2881	1000.33	63.67	6756.67	4331.67	31.85	4118.17	265.50	93.26

Nota: En esta tabla se muestra los resultados de DQO de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y del porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de DQO en la entrada son: mínimo de 2881 mg/L y máximo de 6756.67 mg/L, de salida son: mínimo de 95 mg/L y máximo de 4331.67 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 31.85% y máximo de 93.77%.

- **Nitratos**

Tabla 23

Resultados de nitratos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción.

Fecha (2021)	14 de mayo			20 de mayo			21 de mayo			25 de mayo		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	30	26.7	11	30	28.1	6.33	30	26.50	11.67	30	21.52	28.27
2	30	25.3	15.67	30	24.3	19	30	23.45	21.83	30	21.80	27.33
3	30	23.3	22.33	30	21.3	29	30	22.50	25	30	22.10	26.33
4	30	21.8	27.33	30	29	3.33	30	24.30	19	30	21.50	28.33
5	30	22.1	26.33	30	23.5	21.67	30	22.50	25	30	26.70	11.00
6	30	21.5	28.33	30	23.6	21.33	30	24.20	19.33	30	23.30	22.33
\bar{X}	30	23.45	21.83	30	24.97	16.78	30	23.91	20.31	30	22.82	23.93

Nota. En esta tabla se enlista los resultados de los valores de nitrato de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y del porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de nitrato en la entrada fue de 30 mg/ L y de salida: mínimo de 22.82 mg/L y máximo de 24.97 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 16.78% y máximo de 23.93%.

- **Índice Volumétrico de Lodo (IVL)**

Los valores de entrada y salida de sólidos suspendidos totales (SST) de las muestras del reactor biológico se obtienen con la siguiente fórmula planteada. El volumen de muestra fue de 50 mL.

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales (SST)} = \frac{W_f 105^\circ C - W_f}{V} = \frac{56689.80g - 56631g}{50 mL}$$

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales (SST)} = 1.176 g/mL$$

Tabla 24

Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 14 de mayo, antes de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	Wf 105 °C	Wf	SST	Wf 150 °C	Wf	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	56689.80	56631	1.176	67781.3	55472.4	246.18
2	65358.50	65260	1.97	67781.3	62638.8	102.85
3	61411.20	61246.7	3.29	67794.3	67780.9	0.27
4	61153.17	61045.9	2.15	67785.6	61964.0	116.43
5	61024.15	60945.5	1.57	67781.3	59055.6	174.51
6	61127.36	61025.82	2.03	67784.8	61382.3	128.05

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de SST de las muestras tomadas en la entrada y salida del reactor biológico antes de ser inoculadas del día 14 de mayo de 2021.

Tabla 25

Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 20 de mayo, antes de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	Wf 105 °C	Wf	SST	Wf 150 °C	Wf	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	61293.80	61229.50	1.286	62150.5	62147.1	0.068
2	55048.40	55040.70	0.154	62316.5	62314.4	0.042
3	64513.80	64493.20	0.412	62567.8	62314.4	5.068
4	60285.33	60254.47	0.617	62344.9	62258.6	1.726
5	58171.10	58135.10	0.720	62233.5	62230.8	0.055
6	59862.49	59830.59	0.638	62322.6	62253.1	1.392

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de SST de las muestras tomadas en la entrada y salida del reactor biológico antes de ser inoculadas del día 20 de mayo de 2021.

Tabla 26

Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 21 de mayo, antes de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	Wf 105 °C	Wf	SST	Wf 150 °C	Wf	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	65763.5	65607.2	3.13	60742.6	60733.5	0.18
2	61933.4	61735.1	3.97	58522.4	58115.2	8.14
3	63848.5	63587.7	5.22	58526.6	58116.4	8.20
4	63848.5	63643.3	4.10	59263.9	58988.4	5.51
5	63848.5	63671.2	3.55	59632.5	59424.4	4.16
6	63848.5	63648.9	3.99	59337.6	59075.6	5.24

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de SST de las muestras tomadas en la entrada y salida del reactor biológico antes de ser inoculadas del día 21 de mayo de 2021.

Tabla 27

Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 25 de mayo, antes de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	Wf 105 °C	Wf	SST	Wf 150 °C	Wf	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	62517.8	62500.6	0.34	59287.8	59274.9	0.26
2	56141.6	48612.4	150.58	64345.7	59292.5	101.06
3	49765.4	49647.8	2.35	64263.2	64246.5	0.33
4	56141.6	53586.9	51.09	62632.2	60938.0	33.89
5	59329.7	55556.5	75.46	61816.8	59283.7	50.66
6	56779.2	53980.8	55.97	62469.1	60607.1	37.24

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de SST de las muestras tomadas en la entrada y salida del reactor biológico antes de ser inoculadas del día 25 de mayo de 2021.

Volumen sedimentado de lodos

A continuación, se presentan los resultados de volumen sedimentado de lodo en las muestras en la entrada y salida del reactor biológico de los 4 días de muestreo antes de ser inoculado con el coctel de bacterias.

Tabla 28

Resultados de volumen sedimentado de lodos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico antes de la inoculación.

Fecha (2021)	14 de mayo		20 de mayo		21 de mayo		25 de mayo	
N°	Entrada mL	Salida mL	Entrada mL	Salida mL	Entrada mL	Salida mL	Entrada mL	Salida mL
1	425	0,1	305	0,1	500	7	450	0,05
2	375	0,05	350	0,05	425	38	454	0,05
3	380	0,03	350	0,05	400	81	375	0,04
4	575	0,05	400	0,05	547	83	370	0,06
5	440	0,001	400	0,05	552	28	500	0,05
6	439	0,05	361	0,06	485	47	545	0,05

Nota: En esta tabla se muestra los resultados del volumen sedimentado de lodo.

Los valores SST y VSL, tanto de entrada y salida se reemplazan en la siguiente fórmula y se obtuvo el valor el IVL, mg/L.

$$\text{Indice Volumetrico de Lodos} = \frac{(VSL)}{(SST)} = \frac{425\text{mL}}{1.176\text{g}} = 361.39\text{mL/g}$$

A continuación, se presentan los resultados de IVL y porcentaje de reducción:

Tabla 29

Resultados de IVL de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, antes de la inoculación.

Fecha (2021)	14 de mayo		20 de mayo		21 de mayo		25 de mayo	
N°	E	S	E	S	E	S	E	S
	mL/g		mL/g		mL/g		mL/g	
1	361,39	4,0E-05	237,17	1,47	159,95	38,46	1308,14	0,19
2	190,36	4,9E-04	2272,73	1,19	107,16	4,67	3,01	0,00
3	115,50	1,1E-01	849,51	0,01	76,70	9,87	159,44	0,12
4	268,02	4,3E-04	647,95	0,03	133,34	15,06	7,24	0,00
5	279,72	1,0E-05	555,56	0,91	155,67	6,73	6,63	0,00
6	216,16	2,2E-04	565,95	0,04	121,47	9,04	9,74	0,00
\bar{X}	361,39	4,0E-05	237,17	1,47	159,95	38,46	1308,14	0,19

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de los valores de IVL de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y del porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de IVL en la entrada son: mínimo de 159.95 mL/g y máximo de 1308.14 mL/g y de salida son: mínimo de 4,0E-05mL/g y máximo de 38.46 mL/g.

Se caracterizó en base a la clasificación de Grady et al. (1999) a los resultados promediales de las muestras tomadas en la salida del reactor:

Tabla 30

Caracterización de compactación y sedimentación de los lodos de los resultados promediales de IVL antes de la inoculación.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Antes de la inoculación	4,00E-05	1,47	38,46	0,19
Tipo de sedimentabilidad	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

Nota. En esta tabla se muestra el tipo de sedimentabilidad y compactación de los resultados de IVL antes de la adición de microorganismos.

Todos los resultados de IVL de las muestras tomadas en el reactor biológico antes de la inoculación reflejan que tienen una excelente caracterización de compactación y sedimentación de los lodos.

4.2. Identificación y recuento de los microorganismos del coctel bacteriano

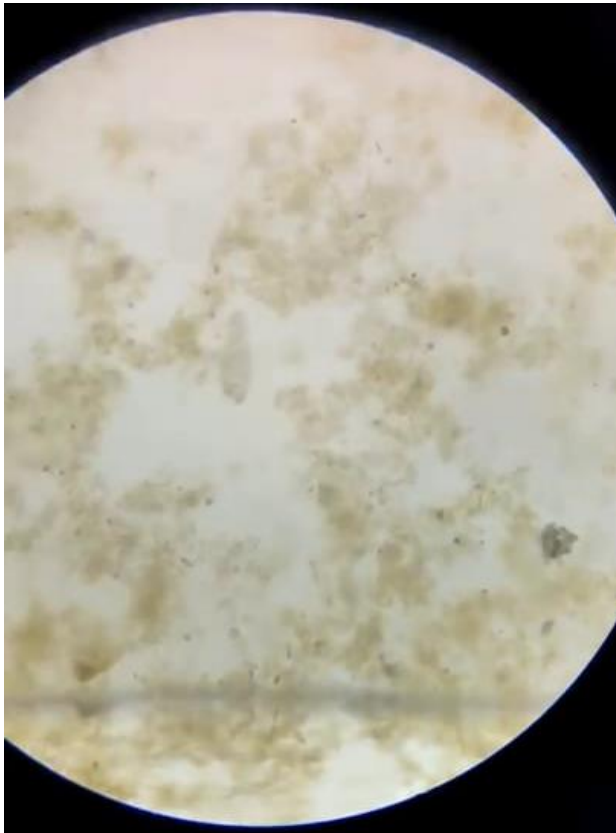
A través del microscopio se visualizó e identificó los microorganismos presentes en la muestra de agua residual del reactor biológico.

En base a la Guía Metodológica para la elaboración de Análisis Microbiológicos de Fangos Activados de EDARS se identificó la presencia de ciliados, *Paramecium Caudatum*. Su descripción se encuentra en el **Anexo 1**.

González, Oria, Moriña, Salas, & Gamero (2008) aluden que el *Paramecium Caudatum* se “alimentan de bacterias. Además, este ciliado nadador es raro en el fango activo. Su presencia indica que se trata de un fango joven sometido a cargas muy fuertes” (p. 79).

Figura 8

Imagen en microscopio del microorganismo Paramecium Caudatum



Nota. En esta imagen se visualiza mediante el microscopio el microorganismo *Paramecium Caudatum* presente en el coctel de bacterias

4.3. Resultados del estado del reactor biológico después de la inoculación

Después de realizar las inoculaciones de los microorganismos de la marca AC-MICRO se repitió el proceso de muestreo del agua residual en la entrada y salida en el reactor biológico para analizar cada uno de los parámetros en estudio.

Las muestras tomadas de la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico en 4 días; se analizaron 6 veces para obtener los valores de cada parámetro para obtener el promedio (\bar{X}) y se determinó la mínima y máxima. De igual forma se obtuvo los porcentajes de remoción de los parámetros de turbidez, DBO₅, DQO, fosfatos y nitratos con la fórmula ya planteada.

- **Potencial hidrogeno (pH)**

Tabla 31

Resultados de pH de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio		21 de junio		22 de junio		23 de junio	
N°	E	S	E	S	E	S	E	S
1	6.89	6.20	9.46	9.38	8.83	8.75	7.39	7.31
2	6.77	6.62	9.45	9.40	8.84	8.69	7.30	7.27
3	6.69	6.63	9.46	9.41	8.84	8.68	7.33	7.20
4	6.66	6.63	9.46	9.42	8.85	8.68	7.33	7.17
5	6.65	6.64	9.46	9.43	8.86	8.68	7.34	7.12
6	6.67	6.64	9.46	9.44	8.87	8.68	7.31	7.08
\bar{X}	6.72	6.56	9.46	9.41	8.85	8.69	7.33	7.19

Nota. En esta tabla se observa los resultados de los valores de pH de las muestras del reactor biológico después de la inoculación.

Los resultados promediales de pH en la entrada fue: mínimo de 7.33 y máximo de 9.46, de salida: mínimo de 6.56 y máximo de 9.4.

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

Tabla 32

Resultados de OD de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha	15 de junio			21 de junio			22 de junio			23 de junio		
(2021)												
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	1.45	0.07	95.17	2.16	0.84	61.11	0.77	0.67	12.99	1.34	0.40	70.15
2	1.12	0.06	94.64	1.53	0.83	45.75	0.77	0.66	14.29	1.33	0.37	72.18
3	1.04	0.01	99.52	1.55	0.69	55.48	0.77	0.54	29.87	1.24	0.23	81.45
4	0.50	0.07	86	1.65	0.71	56.97	1.75	0.34	80.57	1.22	0.18	85.25
5	0.68	0.06	91.18	1.72	0.62	63.95	1.77	0.31	82.49	1.11	0.02	98.20
6	0.86	0.02	97.67	0.67	0.51	23.88	1.17	0.27	76.84	1.08	0.04	96.30
\bar{X}	0.94	0.05	94.03	1.55	0.70	51.19	1.17	0.47	49.51	1.22	0.21	83.92

- *Nota.* En esta tabla se enlista los resultados de los valores de OD de las muestras del reactor biológico, y el porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de OD de entrada fue: mínimo de 0.94 mg/L y máximo de 1.55 mg/L, de salida: mínimo de 0.05 mg/L, máximo de 0.70 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 49.51% y máximo de 94.03%.

- **Turbidez**

Tabla 33

Resultados de turbidez de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio			21 de junio			22 de junio			23 de junio		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	UNT			UNT			UNT			UNT		
1	798	214	73.18	746	66	91.15	884	88	90.05	754	519	31.17
2	839	209	75.09	750	66	91.2	669	88	86.85	715	462	35.38
3	927	225	75.73	638	67	89.50	630	89	85.87	617	385	37.60
4	915	227	75.19	633	68	89.26	633	92	85.47	549	259	52.82
5	735	208	71.70	638	67	89.50	625	90	85.60	503	242	51.89
6	752	199	73.54	593	67	88.70	627	91	85.49	450	187	58.44
\bar{X}	827.67	213.67	74.07	253.67	181.83	28.21	678	89.67	86.55	598	342.33	44.55

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de los valores de turbidez de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y el porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de turbidez fue: de entrada, mínimo de 253.67 UNT y máximo de 827.67 UNT, de salida: mínimo de 89.67 UNT y máximo de 342.3 UNT y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 28.21% y máximo de 89.67%

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Tabla 34

Resultados de DQO de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio			21 de junio			22 de junio			23 de junio		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	8407	2861	65.97	7738	286	96.30	4516	583	87.09	6419	2636	58.93
2	6801	6188	9.01	5070	17	99.66	6391	113	98.23	5000	1821	63.58
3	5244	4473	14.70	5861	6	99.90	5441	118	97.83	5592	2322	58.48
4	3758	3665	2.47	4117	224	94.56	7371	380	94.84	5908	2219	62.44
5	8546	2219	74.03	4700	103	97.81	4773	192	95.98	4671	1582	66.13
6	6551	3881	40.76	5497	82	98.50	5698	204	96.43	5518	2121	61.57
\bar{X}	6551,20	3881,20	34,49	5497,20	119,72	97,79	5698,40	264,94	95,07	5518	2116,78	61,86

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de los valores de DQO de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E), salida (S) y el porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de DQO fue: de entrada, mínimo de 5497 mg/L y máximo de 6551 mg/L, de salida, mínimo de 82 mg/L y máximo de 3881 mg/L, y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 34.49% y máximo de 97.79%.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Los resultados de OD, de las muestras, diluida inmediatamente después de la preparación de esta (D₁) y diluida tras 5 días de incubación a 20°C (D₂), mg/L; la concentración de oxígeno disuelto del control del cultivo: antes de la incubación (B₁) y después de la incubación (B₂), mg/L que se obtuvieron en laboratorio mediante el método Winkler de las muestras después de ser inoculadas, se exponen a continuación:

Tabla 35

Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 15 de junio de 2021.

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	5,45	6,08	5,81	5,02
2	5,43	6,22	5,85	4,86
3	5,51	6,19	5,86	4,6
4	5,52	6,17	5,76	4,59
5	5,46	6,22	5,7	4,85
6	5,47	6,29	5,8	3,87

Nota. Esta tabla muestra los valores OD del día 15 de junio de 2021.

Tabla 36

Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 21 de junio de 2021.

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	5,29	5,78	4,5	4,6
2	5,36	5,42	5,14	4,68
3	5,44	5,56	5,3	4,62
4	5,36	5,63	5,14	4,57
5	5,16	5,44	5,16	4,51
6	5,45	5,70	5,1	4,60

Nota. Esta tabla enlista los valores de OD del día 21 de junio de 2021.

Tabla 37

Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 22 de junio de 2021.

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	6,60	6,93	6,77	6,52
2	6,46	6,87	6,66	5,65
3	5,9	6,94	6,36	5,45
4	5,86	6,92	6,25	5,38
5	5,47	6,91	5,92	5,34
6	6,06	7,00	6,4	5,32

Nota. En esta tabla se expone los valores de OD del día 22 de junio de 2021.

Tabla 38

Valores de OD mediante el método Winkler de la muestra de agua residual después de ser inoculada del día 23 de junio de 2021.

N°	Entrada		Salida	
	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)	D1 (mg/L)	D2 (mg/L)
1	6,43	6,42	4,8	5,05
2	6,63	6,25	4,68	5
3	6,44	6	4,43	4,92
4	6,50	5,74	4,64	4,86
5	6,53	5,65	4,58	4,8
6	6,51	6,02	4,6	4,75

Nota. Esta tabla muestra los valores de OD del día 23 de junio de 2021.

Los valores de OD que se obtuvieron por el método Winkler se reemplazan en la siguiente fórmula y se obtiene el valor de la DBO₅, mg/L.

$$DBO_5 = \frac{(D_1 - D_2)}{f} = \frac{(6.08 - 5.45)}{0.99} = 75 \text{ mg/L}$$

A continuación, se muestra los resultados de DBO₅ y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Tabla 39

Resultados de DBO₅ de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio			21 de junio			22 de junio			23 de junio			
	N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
		mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1		75,00	29,00	61,33	11	10	9,09	152	129	15,13	79	42	46,84
2		74,00	32,00	56,76	114	4	96,49	79	10	87,34	69	59	14,49
3		100,00	40,00	60,00	12	7	41,67	56	13	76,79	67	42	37,31
4		71,00	33,00	53,52	96	95	1,04	75	59	21,33	73	64	12,33
5		83,00	26,00	68,67	116	4	96,55	48	39	18,75	61	32	47,54
6		80,60	32,00	60,30	152	24	84,21	51,8	49	5,41	64,6	27,6	57,28
\bar{X}		80,60	32,00	60,10	83,50	24	54,84	82,00	50	43,87	68,93	44,43	35,96

Nota. En esta tabla se enlista los valores de DBO₅ de las muestras del reactor biológico y el porcentaje de remoción después de la inoculación.

Los resultados promediales de DBO₅ fue: de entrada, mínimo de 68.93 mg/L y máximo de 83.50 mg/L, de salida, mínimo de 24 mg/L y máximo de 50 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 35.96% y máximo de 60.10%.

- **Nitratos**

Tabla 40

Resultados de nitratos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio			21 de junio			22 de junio			23 de junio		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	30	18.10	39.67	30	30	0	30	29.00	3.33	30	20.10	33.00
2	30	23.10	23.00	30	30	0	30	29.30	2.33	30	10.00	66.67
3	30	25.30	15.67	30	30	0	30	27.10	9.67	30	9.00	70.00
4	30	21.50	28.33	30	30	0	30	26.90	10.33	30	8.00	73.33
5	30	26.70	11.00	30	30	0	30	29.40	2.00	30	8.00	73.33
6	30	25.60	14.67	30	30	0	30	26.80	10.67	30	7.00	76.67
\bar{X}	30	23.38	22.06	30	30	0	30	28.08	6.39	30	10.35	65.50

Nota. En esta tabla se muestra los resultados del parámetro de nitrato de las muestras del reactor biológico, y el porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Los resultados promediales de nitratos fue de entrada 30 mg/L y de salida, mínimo de 10.35 g/L y máximo de 30 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 0% y máximo de 65.5%.

- **Fosfatos**

Tabla 41

Resultados de fosfatos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio			21 de junio			22 de junio			23 de junio		
N°	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
	mg/L			mg/L			mg/L			mg/L		
1	2.50	1.81	27.60	2.50	0.76	69.60	2.50	1.21	51.60	2.50	1.21	51.60
2	2.50	1.68	32.80	2.50	1.63	34.80	2.50	1.16	53.60	2.50	1.15	54.00
3	2.50	1.79	28.40	2.50	1.80	28.00	2.50	1.26	49.60	2.50	1.17	53.20
4	2.50	1.75	30	2.50	1.85	26.00	2.50	1.51	39.60	2.50	1.14	54.40
5	2.50	1.75	30	2.50	1.88	24.80	2.50	1.73	30.80	2.50	1.12	55.20
6	2.50	1.76	29.76	2.50	2.00	20.00	2.50	2.01	19.60	2.50	1.06	57.60
\bar{X}	2.50	1.76	29.76	2.50	1.65	33.87	2.50	1.48	40.80	2.50	1.14	54.33

Nota. En esta tabla se observa los resultados del parámetro fosfato de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y el porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de fosfatos fue de entrada 2.50 mg/L, de salida, mínimo de 1.14 mg/L y máximo de 1.76 mg/L y de porcentaje de remoción se obtuvo un mínimo de 29.76% y máximo de 54.33%.

- **Índice Volumétrico de Lodos (IVL)**

Los valores de entrada y salida de los sólidos suspendidos totales de las muestras del reactor biológico se obtienen con la fórmula planteada reemplazando. El volumen de muestra fue de 50 mL.

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales (SST)} = \frac{W_f 105^\circ\text{C} - W_f}{V} = \frac{56689.80\text{g} - 56631\text{g}}{50\text{ mL}}$$

$$\text{Sólidos Suspendidos Totales (SST)} = 1.176\text{ g/mL}$$

Tabla 42

Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 15 de junio, después de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	W _f 105 °C	W _f	SST	W _f 150 °C	W _f	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	29041,1	28560,6	9,552	29095,9	29038,2	1,15
2	29041,4	28560,8	1,352	300045	28628,4	5428,33
3	29041	28561,9	39,496	31045,5	30536,7	10,18
4	29041,1667	28561,1	16,8	120062,133	29401,1	1813,22
5	29041,25	28560,7	5,452	164570,45	28833,3	2714,74
6	29041,1833	28561,02	14,5304	128963,797	29287,54	1993,53

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de peso de filtro en temperatura ambiente y a 105 °C y los SST de las muestras tomadas en la entrada y salida del reactor biológico después de ser inoculadas del día 15 de junio.

Tabla 43

Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 21 de junio, después de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	W _f 105 °C	W _f	SST	W _f 150 °C	W _f	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	65517,7	61143,7	87,48	63486,3	61644,9	12,28
2	56717	56522,1	3,90	63483,6	61646,7	12,25
3	62513,37	61118,1	27,91	61118,2	55044,7	40,49
4	65411,55	64247,6	23,28	61119,8	55646,7	36,49
5	63962,46	61119,8	56,85	65159,3	62394,3	18,43
6	65305,4	65159,3	2,92	62873,44	59275,46	23,99

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de los SST de las muestras obtenidas del reactor biológico después de ser inoculadas del día 21 de junio.

Tabla 44

Resultados de peso del filtro 105°C y sólidos suspendidos totales del día 22 de junio, después de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	W _f 105 °C	W _f	SST	W _f 150 °C	W _f	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	28148,8	28093	0,372	60627	60626,8	0,001
2	28489,8	28423	0,445	64257,8	64253,3	0,030
3	27976,6	22898,8	33,852	64149,4	64147,7	0,011
4	28319,3	28258	0,409	63011,4	62440,05	3,809
5	28233,6	25660,9	17,152	64203,6	64200,5	0,021
6	28233,6	26666,74	10,446	63249,84	63133,67	0,774

Nota. En esta tabla se describe los resultados de los SST de las muestras tomadas del reactor biológico después de ser inoculadas del día 22 de junio.

Tabla 45

Resultados de peso del filtro 105°C y SST del día 23 de junio, después de ser inoculadas.

N°	Entrada			Salida		
	W _f 105 °C	W _f	SST	W _f 150 °C	W _f	SST
	(g)	(g)	(g/mL)	(g)	(g)	(g/mL)
1	60448,3	60445,9	0,05	62515,5	57992,8	90,45
2	59206,5	59171,6	0,70	62548,7	62515,4	0,67
3	62124,1	62033,1	1,82	58030	57991,5	0,77
4	60593,0	59808,75	15,68	61031	60254,1	15,55
5	60612,37	60602,35	0,20	61031,4	60253,45	15,56
6	60596,85	60412,34	3,69	61031,4	59801,45	24,60

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de los SST de las muestras tomadas del reactor biológico después de ser inoculadas del día 23 de junio.

Volumen sedimentado de lodos

A continuación, se exhiben los resultados de volumen sedimentado de lodos de las muestras en la entrada y salida del reactor biológico de los 4 días de muestreo después de ser inoculado el coctel de bacterias.

Tabla 46

Resultados de volumen sedimentado de lodos de las muestras de entrada y salida del reactor biológico después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio		21 de junio		22 de junio		23 de junio	
N°	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	mL		mL		mL		mL	
1	520	0,8	600	0,01	450	0,01	550	100
2	510	5,5	650	0,01	425	0,01	450	100
3	650	6	650	0,01	450	0,01	450	100
4	600	0,8	650	0,01	500	0,01	400	80
5	600	0,8	650	0,01	450	0,01	400	80
6	460	2,4	650	0,01	450	0,01	400	80

Nota. En esta tabla se muestra el volumen sedimentado de lodos después de la inoculación.

Los valores SST y VSL, de entrada y salida se reemplazan en la siguiente fórmula para obtener el valor de IVL, mL/g, después de ser inoculadas.

$$\text{Indice Volumetrico de Lodos} = \frac{(VSL)}{(SST)} = \frac{520mL}{9.552} = 54.44 \text{ mL/g}$$

Tabla 47

Resultados de IVL de entrada y salida del reactor biológico y porcentaje de remoción, después de la inoculación.

Fecha (2021)	15 de junio		21 de junio		22 de junio		23 de junio	
N°	E	S	E	S	E	S	E	S
	mL/g		mL/g		mL/g		mL/g	
1	54,44	0,69	6,86	0,001	1209,68	7,50	11458,33	1,11
2	377,22	0,00	166,75	0,001	954,34	0,33	644,70	150,15
3	16,46	0,59	23,29	0,000	13,29	0,88	247,25	129,87
4	35,71	0,00	27,92	0,000	1223,49	0,00	25,50	5,15
5	110,05	0,00	11,43	0,001	26,24	0,48	1996,01	5,14
6	31,66	0,00	222,45	0,000	43,08	0,01	108,40	3,25
\bar{X}	104,26	0,21	76,45	0,001	578,35	1,54	2413,37	49,11

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de los valores de IVL de las muestras de agua residual tomadas en la entrada (E) y salida (S) del reactor biológico, y del porcentaje de remoción.

Los resultados promediales de IVL en la entrada son: mínimo de 76.45 mL/g y máximo de 2413.37 mL/g, de salida son: mínimo de 0,001 mL/g y máximo de 49.11 mL/g.

Se caracterizó en base a la clasificación de Grady et al. (1999) a los resultados promediales de las muestras tomadas en la salida del reactor:

Tabla 48

Caracterización de compactación y sedimentación de los lodos de los resultados promediales de IVL después de la inoculación.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Después de la inoculación (mL/g)	0,21	0,001	1,54	49,11
Tipo de sedimentabilidad	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

Nota. En esta tabla se muestra el tipo de sedimentabilidad y compactación de los resultados de IVL antes de la adición de microorganismos.

Todos los resultados de IVL de las muestras tomadas en el reactor después de adicionar los microorganismos reflejan que tienen una caracterización de compactación y sedimentación de los lodos, excelente.

4.4. Análisis estadístico de los porcentajes de remoción antes y después de la Aplicación de los microorganismos

Este análisis evaluó y comparó los resultados de porcentajes de remoción de los parámetros de turbidez, OD, DQO, DBO₅, nitratos y fosfatos antes y después de inocular con los microorganismos AC MICRO mediante las pruebas de Shapiro Test y Fligner-Killeen dentro del programa R-Studio.

Primero se verificó si los datos de los parámetros físico químicos tienden a seguir una distribución normal mediante la prueba de Shapiro test, con las siguientes hipótesis.

H₀: Datos de porcentajes de remoción de parámetros fisicoquímicos después y antes aplicación de microorganismos AC MICRO siguen una distribución normal, si p-value $\geq 0,05$ con 95% de significancia.

H₁: Datos de porcentajes de remoción de parámetros fisicoquímicos después y antes aplicación de microorganismos AC MICRO no siguen una distribución normal, si p-value $\leq 0,05$ con 95% de significancia.

Posterior se crearon diagramas de cajas para visualizar la distribución de los resultados, así como el cálculo de los promedios y las varianzas. Para comprobar la homogeneidad de las varianzas de cada uno de los parámetros se utilizó la prueba de Fligner-Killeen, y para ello se establecieron las siguientes hipótesis:

H₀: Existe homogeneidad de varianza en los resultados de porcentajes de remoción antes y después de la inoculación con los microorganismos AC MICRO.

H₁: No existe homogeneidad de varianza en los resultados de porcentajes de remoción antes y después de la inoculación con los microorganismos AC MICRO.

A continuación, se realiza el análisis estadístico en cada uno de los parámetros.

- **Turbidez**

Figura 11

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de turbidez después de la inoculación.

```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosB2$Turbidez
W = 0.79642, p-value = 0.0002576
```

Nota. La presente gráfica se obtuvo del programa RStudio de la prueba de Shapiro Wilk de los datos de turbidez con aplicación de microorganismos.

Figura 12

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de turbidez antes de la inoculación.

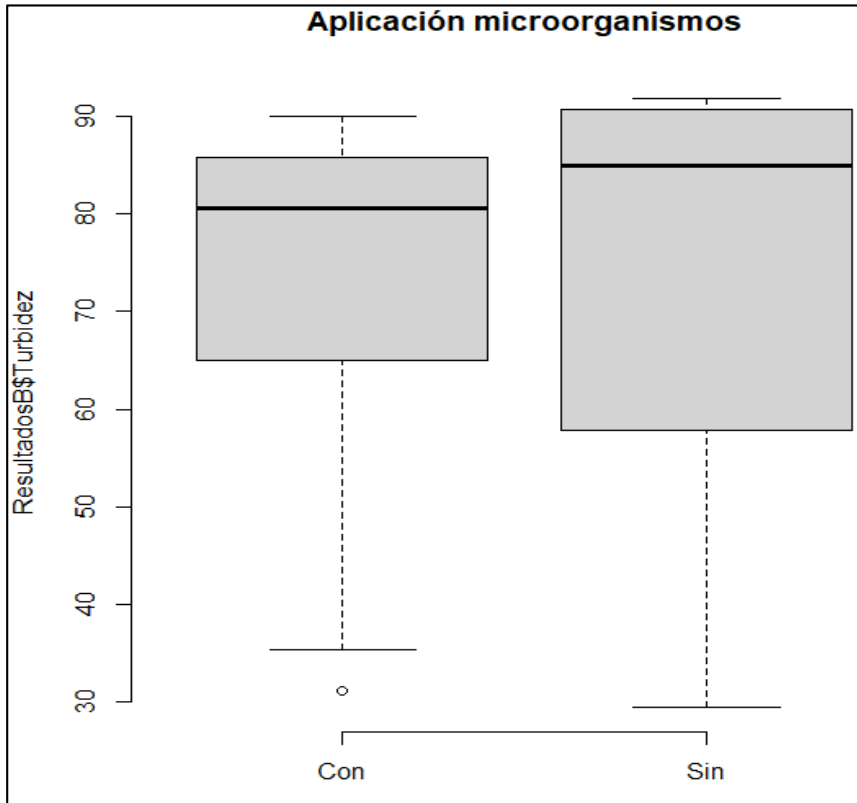
```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosB1$Turbidez
W = 0.68423, p-value = 6.277e-06
```

Nota. En la presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk que se llevó a cabo de los datos de turbidez sin aplicación de microorganismos que se obtuvo del programa RStudio.

Los valores de p-value correspondiente a los porcentajes de remoción de turbidez después y antes de aplicar los microorganismos son 0,0002576 y 6.227×10^{-6} , respectivamente. Estos valores indican que los porcentajes de remoción antes y después de la adición no siguen una distribución normal.

Figura 13

Diagrama de caja de porcentaje de remoción de Turbidez antes y despues de aplicar los microorganismos Ac micro.

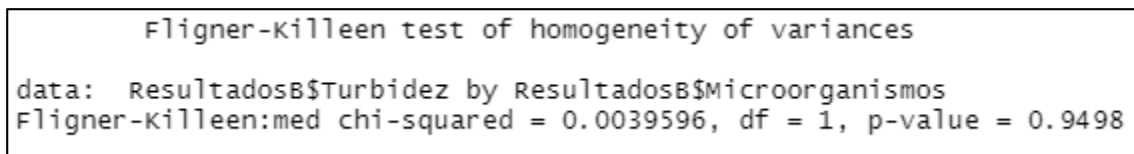


Nota: La figura indica el diagrama de caja realizado a partir de los resultados de porcentaje de remoción de Turbidez con y sin aplicación de microorganismos Ac micro. Tomado de RStudio.

Los promedios de los porcentajes de remoción de Turbidez después y antes de aplicar los microorganismos AC MICRO son de 73.23% y 72.93%, respectivamente.

Figura 9

Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de turbidez



Nota. La presente gráfica indica el contraste de hipótesis de los datos de turbidez con y sin aplicación de microorganismos Ac Micro. Tomado R Studio.

Mediante la prueba de Fligner-Killeen se obtuvo el p-value de 0.9498. Por lo tanto, al ser mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula que confirma la homogeneidad de varianzas de los resultados de porcentajes de remoción del parámetro de turbidez antes y después de inoculación.

- **Oxígeno disuelto**

Figura 10

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de OD despues de la inoculación.

```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosC1$OD
W = 0.88312, p-value = 0.009607
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de OD con aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Figura 11

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de turbidez antes de la inoculación.

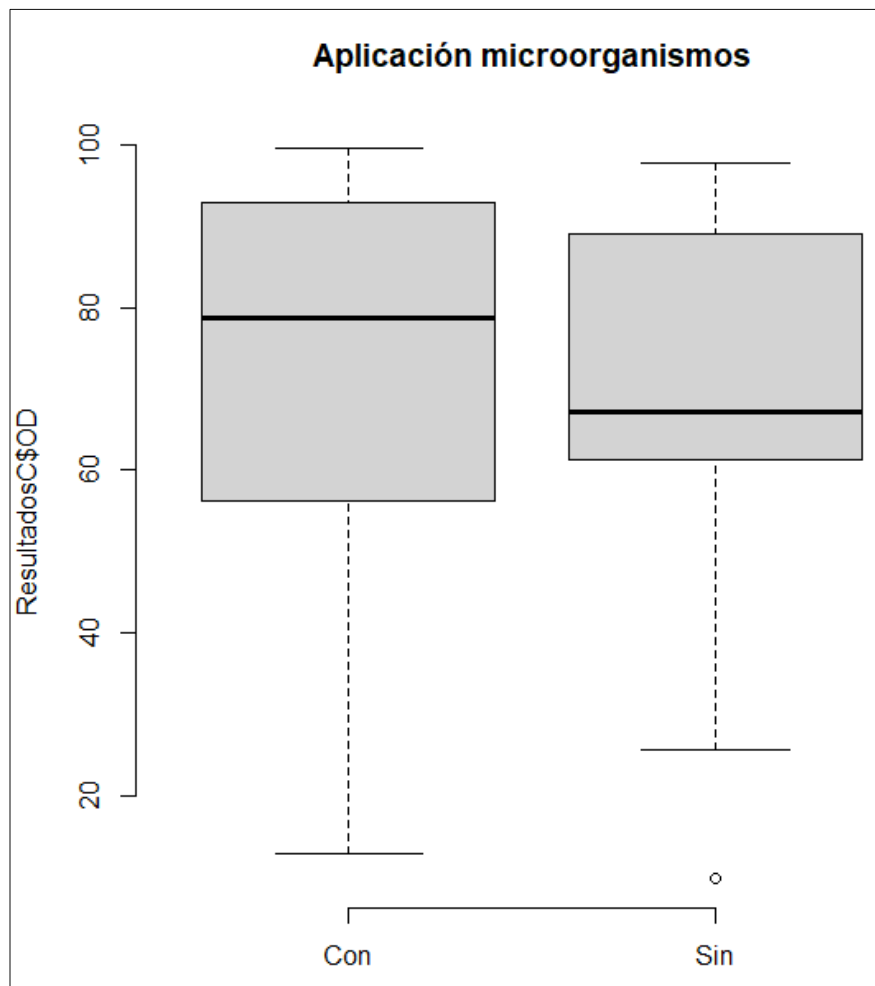
```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosC2$OD
W = 0.68423, p-value = 6.277e-06
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de OD sin aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Los resultados de p-value del parámetro de oxígeno disuelto después de aplicar los microorganismos es de 0.009607 y antes 6.227×10^{-6} , ambos resultados indican que los porcentajes de remoción no siguen una distribución normal.

Figura 12

Diagrama de caja de porcentaje de remoción de OD con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.



Nota: La figura indica el diagrama de caja realizado a partir de los resultados de porcentaje de remoción de OD con y sin aplicación de microorganismos Ac micro. Tomado de Rstudio.

Se obtuvo promedios de los porcentajes de remoción de oxígeno disuelto antes de aplicar los microorganismos Ac micro es de 69,03% y después de 69.66%.

Figura 13

Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de OD.

```
Fligner-killeen test of homogeneity of variances
data: ResultadosC$OD by ResultadosC$Microorganismos
Fligner-killeen:med chi-squared = 1.5664, df = 1, p-value = 0.2107
```

Nota. La presente gráfica indica el contraste de hipótesis de los datos de Turbidez con y sin aplicación de microorganismos Ac Micro. Tomado R Studio.

El resultado de p-value de OD antes y después de aplicar los microorganismos fue de 0.2107, con este valor se acepta la hipótesis nula que confirma la homogeneidad de varianzas de los resultados de porcentajes de remoción de este parámetro con o sin microorganismos AC-MICRO.

- **Demanda Química de Oxígeno**

Figura 14

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DQO después de la inoculación.

```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosD1$DQO
W = 0.82197, p-value = 0.0008797
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de DQO con aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Figura 15

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DQO antes de la inoculación.

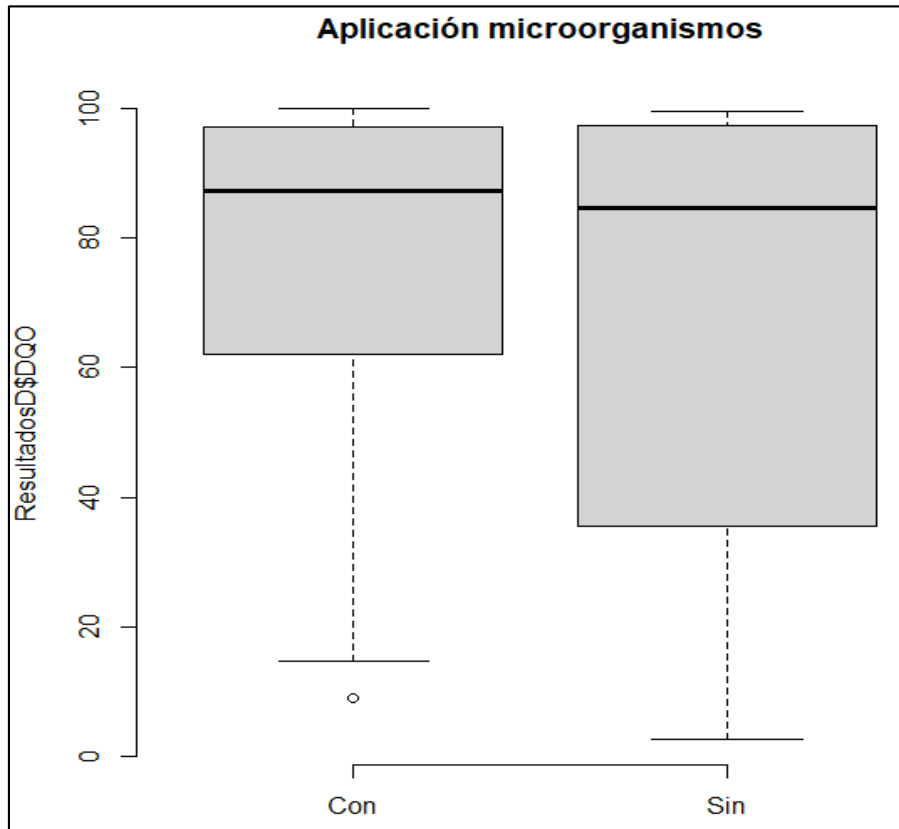
```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosD3$DQO
W = 0.79062, p-value = 0.0002078
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de DQO sin aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Los valores de p-value de los porcentajes de remoción del parámetro de DQO después y antes de aplicar los microorganismos es de 0,0008797 y 0.0002078 respectivamente, estos valores indican que dichos porcentajes no siguen una distribución normal.

Figura 16

Diagrama de caja de porcentaje de remoción de DQO con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.



Nota: La figura indica el diagrama de caja realizado a partir de los resultados de porcentaje de remoción de DQO con y sin aplicación de microorganismos Ac micro. Tomado de RStudio.

Los promedios de los porcentajes de remoción de DQO después y antes de aplicar los microorganismos Ac micro es de 75.34% y 70.64%, respectivamente.

Figura 17

Prueba de U Fligner-Killeen de los resultados de DQO.

```
Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
data: ResultadosD$DQO by ResultadosD$Microorganismos
Fligner-Killeen:med chi-squared = 0.018357, df = 1, p-value = 0.8922
```

Nota. La presente gráfica indica el contraste de hipótesis de los datos de DQO con y sin aplicación de microorganismos Ac Micro. Tomado RStudio.

El valor de p-value de la DQO antes y después de aplicar los microorganismos fue de 0.8922, este resultado permite aceptar la hipótesis nula que señala la existencia de la homogeneidad de varianzas en los resultados de porcentajes de remoción.

- **Nitratos**

Figura 18

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de nitratos después de la inoculación.

```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosE1$Nitratos
W = 0.7702, p-value = 9.97e-05
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de nitratos con aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Figura 19

Prueba de Shapiro Wilkt de los resultados de nitratos antes de la inoculación.

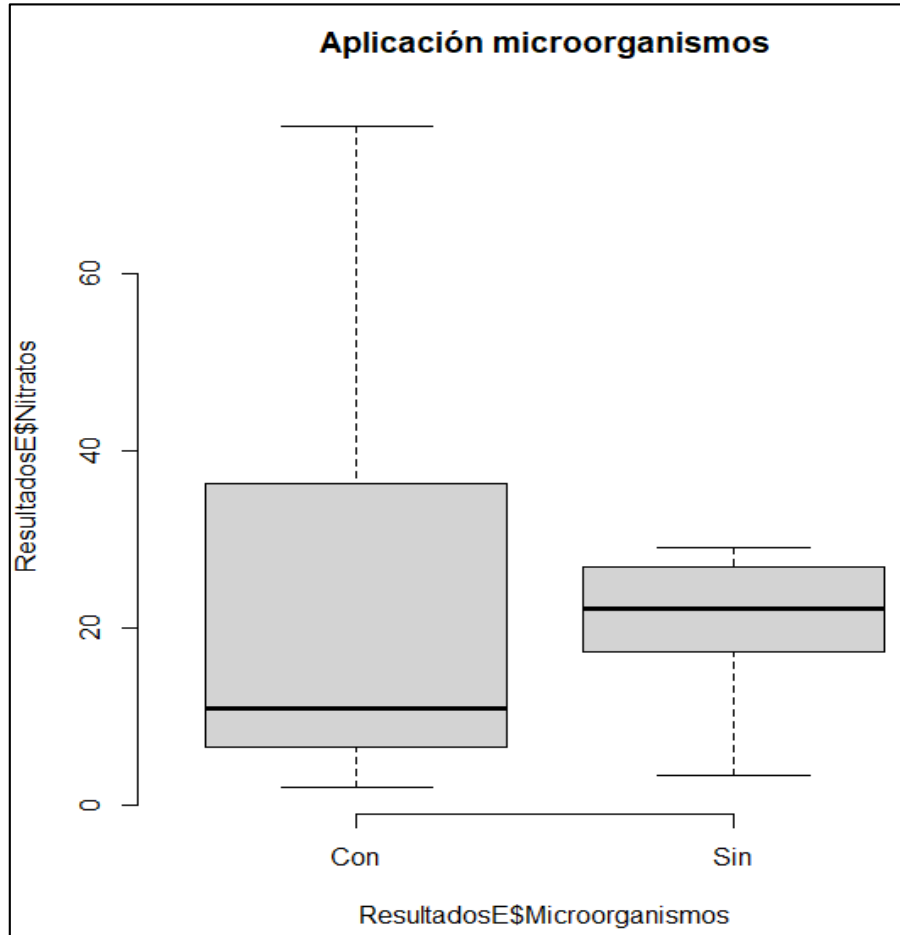
```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosE2$Nitratos
W = 0.89189, p-value = 0.01455
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de nitratos sin aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Los resultados de p-value de los porcentajes de remoción de los nitratos después y antes de aplicar la inoculación es de 9.97×10^{-5} y 0,01455, respectivamente. Al obtener dichos valores se establece que los porcentajes no tienen una distribución normal.

Figura 20

Diagrama de caja de porcentaje de remoción de Nitratos con y sin aplicación de microorganismos Ac micro



Nota: La figura indica el diagrama de caja realizado a partir de los resultados de porcentaje de remoción de nitratos con y sin aplicación de microorganismos Ac micro. Tomado de Rstudio.

El promedio de los porcentajes de remoción de nitratos después de la aplicar los microorganismos es de 25.08% y antes es de 20.71%.

Figura 21

Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de nitratos.

```
Fligner-killeen test of homogeneity of variances
data: ResultadosE$Nitratos by ResultadosE$Microorganismos
Fligner-killeen:med chi-squared = 4.3916, df = 1, p-value = 0.03612
```

Nota. La presente gráfica indica el contraste de hipótesis de los datos de nitratos antes y después de la aplicación de microorganismos Ac Micro. Tomado R Studio.

Con la prueba de Fligner-Killeen se obtuvo los resultados de p-value de nitratos antes y después de aplicar los microorganismos de 0.03612. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que no existe homogeneidad en las varianzas de los resultados de porcentajes de remoción del parámetro de nitratos.

- **Fosfatos**

Figura 22

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de fosfatos después de la inoculación.

```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosF1$Fosfatos
W = 0.89942, p-value = 0.02092
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de Fosfatos con aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Figura 23

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de fosfatos antes de la inoculación

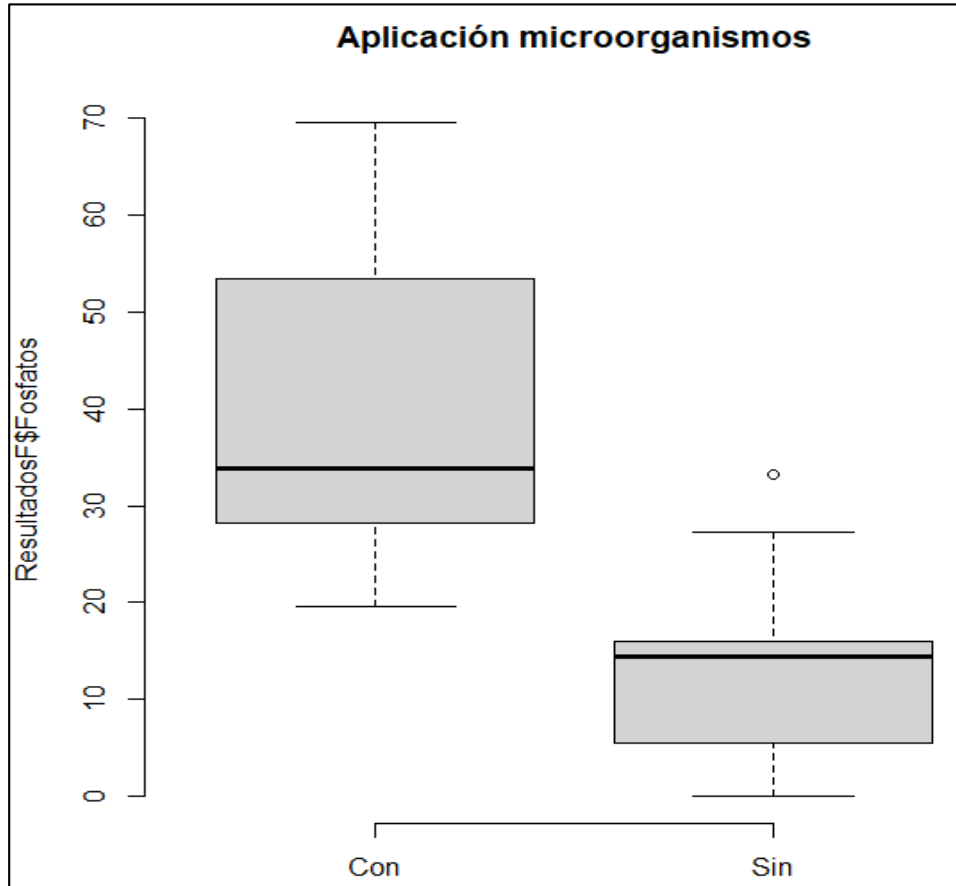
```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosF2$Fosfatos
W = 0.93741, p-value = 0.1581
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de Fosfatos sin aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Los valores de p-value correspondiente a los porcentajes de remoción de fosfato después y antes de aplicar los microorganismos son 0,02092 y 0,1581, respectivamente. Estos valores indican que los porcentajes de remoción antes y después de la adición no siguen una distribución normal.

Figura 24

Diagrama de caja de porcentaje de remoción de Fosfatos con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.



Nota: La figura indica el diagrama de caja realizado a partir de los resultados de porcentaje de remoción de Fosfatos con y sin aplicación de microorganismos Ac micro. Tomado de Rstudio.

Los promedios de los porcentajes de remoción de fosfatos después y antes de la aplicación de microorganismos es de 39.69% y 12.3% respectivamente.

Figura 25

Prueba de U Fligner-Killeen de los resultados de los fosfatos.

```
Fligner-killeen test of homogeneity of variances
data: ResultadosF$Fosfatos by ResultadosF$Microorganismos
Fligner-killeen:med chi-squared = 5.572, df = 1, p-value = 0.01825
```

Nota. La presente gráfica indica el contraste de hipótesis de los datos de fosfatos con y sin aplicación de microorganismos Ac Micro. Tomado R Studio.

El resultado de p-value de los fosfatos antes y después de aplicar los microorganismos fue de 0.01825. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que no existe homogeneidad en las varianzas de los resultados de porcentajes de remoción en este parámetro.

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

Figura 26

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DBO₅ después de la inoculación.

```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosG2$DBO5
W = 0.86798, p-value = 0.004803
```

Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de DBO₅ con aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Figura 27

Prueba de Shapiro Wilk de los resultados de DBO₅ antes de la inoculación.

```
shapiro-wilk normality test
data: ResultadosG1$DBO5
W = 0.89081, p-value = 0.01382
```

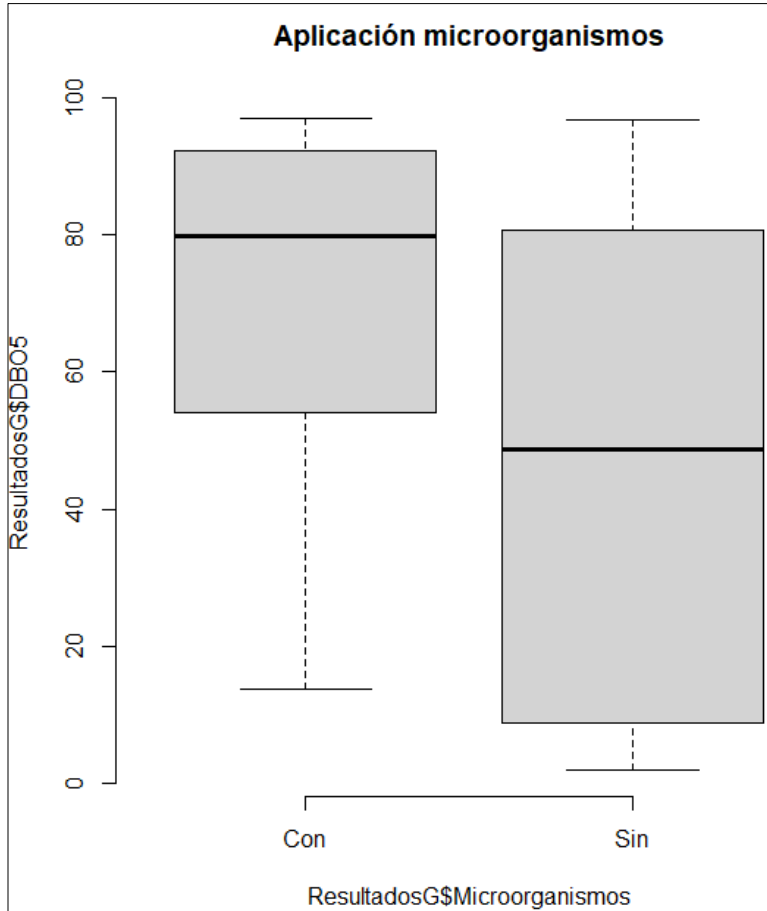
Nota. La presente gráfica indica la prueba de Shapiro Wilk de los datos de DBO₅ sin aplicación de microorganismos. Tomado R Studio.

Los valores de p-value correspondiente a los porcentajes de remoción de DBO₅ después y antes de aplicar los microorganismos es de 0,004803 y antes de 0.01382, respectivamente. Estos valores

indican que los porcentajes de remoción antes y después de la adición no siguen una distribución normal.

Figura 28

Diagrama de caja de porcentaje de remoción de DBO₅ con y sin aplicación de microorganismos Ac micro.



Nota: La figura indica el diagrama de caja realizado a partir de los resultados de porcentaje de remoción de DBO₅ con y sin aplicación de microorganismos Ac micro. Tomado de Rstudio.

Los promedios de los porcentajes de remoción de DBO₅ después y antes de la aplicación de microorganismos Ac micro son 48.66% y 50.09%, respectivamente.

Figura 29

Prueba de Fligner-Killeen de los resultados de DBO₅

```
Fligner-killeen test of homogeneity of variances
data: ResultadosG$DBO5 by ResultadosG$Microorganismos
Fligner-killeen:med chi-squared = 8.9411, df = 1, p-value = 0.002788
```

Nota. La presente gráfica indica el contraste de hipótesis de los datos de DBO₅ con y sin aplicación de microorganismos Ac Micro. Tomado R Studio.

El valor de p-value fue de 0.002788 en el parámetro de DBO₅ antes y después de la inoculación, este resultado se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto se establece que no existe homogeneidad de varianzas de los resultados de porcentajes de remoción.

En esta sección del análisis estadístico; con la prueba de Shapiro Test se comprobó que los porcentajes de remoción antes y después de la inoculación en todos los parámetros no siguen una distribución normal debido a que los valores de p-value fueron menores a 0.05 y se rechaza la hipótesis nula, en base a la metodología planteada.

A continuación, se realizó la prueba de Fligner-Killeen, en cuanto a los parámetros de turbidez, OD y DQO se obtuvo valores de p-value mayores a 0.05 que permite aceptar la hipótesis nula que señala que existe homogeneidad en sus varianzas. Caso contrario ocurrió en los parámetros de nitratos, fosfatos y DBO₅ donde se rechazó la hipótesis nula que indica que no existe homogeneidad en sus varianzas. Según Bakieva et. al. aceptar la hipótesis de igualdad u homegenidad significa que no existe diferencias significativas entre los grupos o sea en los porcentajes de remoción antes y después de la inoculación (2012) o como Flores menciona que la homogeneidad de varianza, se refiere “cuando los valores de error estadístico defieren entre si y que, el procedimiento señala que es un efecto aleatorio y existe gran probabilidad de que la fuente o fuentes de variación sean las mismas” (2015).

4.5. Estudio de sostenibilidad económico del tratamiento biológico

En este ítem se determinó la inversión mensual que tomará el adicionar los microorganismos de la marca AC-MICRO en el reactor biológico de la PTAR-CMQ. En base a la cantidad de microorganismos que se utilizó en las 5 inoculaciones realizadas, detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 49

Cantidad de horas durante inoculaciones.

Fecha	Cantidad de horas
8-10 junio	48 horas
10-15 junio	120 horas
15-17 junio	48 horas
17-23 junio	144 horas
Total	360 horas

Nota En esta tabla se enlista la cantidad de horas durante las inoculaciones.

Tabla 50*Caudal inoculado de microorganismos AC-MICRO.*

Fecha	Caudal (m³/hora)
8 de junio	57.53
10 de junio	60.28
15 de junio	71.89
17 de junio	69.17
23 de junio	58.47
\bar{X}	63.53

Nota. En esta tabla se enlista los caudales en los que se inoculó los microorganismos AC-Micro.

Tabla 51

Cantidad de microorganismos Ac Micro por inoculación.

Fecha	Cantidad de microorganismos AC-MICRO (mL)
8 de junio de 2021	3000
10 de junio de 2021	4100
15 de junio de 2021	3550
17 de junio de 2021	7100
23 de junio de 2021	6720
Total	24470

Nota. En esta tabla se enlista la cantidad de microorganismos AC- MICRO en cada inoculación.

3.6.1 Cálculo de volumen de agua residual del reactor biológico

Volumen (m³) de agua a tratar mensualmente =

Total de horas de permanencia de bacterias x Caudal promedio (Q_m)

Cantidad de m₃ de agua a tratar =

$$360h \times 63.53 \frac{m^3}{h} = 22870 m^3$$

3.6.1 Cálculo de costo de agua a tratar

Costo por m³ de agua tratada =

$$\frac{24470 ml \times 32\$}{22870 m^3 \times 3785.41 mL} = 0.009 \frac{\$}{m^3}$$

3.6.1 Costo anual de inoculación de microorganismos AC-MICRO

Costo anual de inoculación microorganismos Ac – Micro =

$$\frac{0.009\$ \times 150 m^3 \times 24h \times 5días}{m^3 \times h \times 1día \times 1mes} = 162 \frac{\$}{mes}$$

4.6. Determinar si los resultados de salida de las muestras antes y después de la aplicación de los microorganismos cumplen con la legislación ambiental.

En esta sección se comprobó si los resultados promediales de las 4 muestras de agua residual tomadas en la salida del reactor biológico antes y después del proceso de inoculación del coctel de bacterias de la marca AC-MICRO, están o no dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la legislación ambiental nacional.

Los límites máximos permisibles son los acordados en el Acuerdo Ministerial N° 097-A del TULSMA Libro VI Anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua y de la Ordenanza municipal 0136 NT002 Norma Técnica para el control de descargas líquidas, principalmente los criterios para descargar en el sistema de alcantarillado o para descargas en aguas. En el caso del fosfato se utilizó el valor establecido en el Reglamento para la

Calidad del Agua Potable N.º 38924-S de Costa Rica debido a que en la normativa nacional no designa un valor a este parámetro.

Tabla 50

Cumplimiento de lo LMP por parte de los valores de las muestras de la salida del reactor biológico antes y después de la inoculación.

Parámetro	Muestra	Unidades	Límite Máximo Permisible (LMP)	Valor de salida (antes de la inoculación)	Cumple con el LMP	Valor de salida (después de la inoculación)	Cumple con el LMP
Ph	1		6-9	5,58	No	6,56	No
	2		AM 097	6,76	Si	9,41	No
	3			7,01	Si	8,69	Si
	4			7,59	Si	7,19	Si
Turbidez	1	UNT	100	102,5	No	213,67	No
	2		AM 097	73,17	Si	181,83	No
	3			535,83	No	89,67	Si
	4			71,5	Si	342,33	No
Oxígeno Disuelto	1	mg/L	60	0,71	Si	0,05	Si
	2		AM 097	0,16	Si	0,7	Si
	3			0,08	Si	0,47	Si
	4			0,26	Si	0,21	Si
DQO	1	mg/L	500 AM 097	95	Si	3881,2	No
	2		350 NT002	1000,33	No	119,72	Si
	3			4331,6	No	264,94	Si
	4			265,5	SI	2116,78	No
DBO ₅	1	mg/L	250	18,41	Si	100,46	Si
	2		AM 097	23,62	Si	43,56	Si
	3		170	19,47	Si	65,84	Si
	4		NT002	8,55	Si	13,27	Si
Nitratos	1	mg/L	200	23,45	Si	23,38	Si
	2		AM097	24,97	Si	30	Si
	3			23,91	Si	28,08	Si
	4			22,82	Si	10,35	Si
Fosfatos	1	mg/L	25	2,35	Si	1,76	Si
	2		Decreto N.º	1,99	Si	1,65	Si
	3		38924-S	2,11	Si	1,48	Si
	4			2,2	Si	1,14	Si

Nota. En esta tabla se determina que valores de las muestras cumplen o no con los LMP.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Los resultados promediales de pH de todas las muestras están entre 5 y 10 y el rango permitido en el Acuerdo Ministerial 097A indica que lo más idóneo es tener valores de pH entre 6 y 9. En este caso a excepción de la muestra 1 antes de la inoculación y la muestra 2 después presentan valores fuera de los permitidos en la legislación ambiental vigente, las demás muestras se encuentran dentro de lo permitido.

- **Turbidez**

Los resultados promediales se encuentran en un rango entre 50 a 550 UNT; en el Acuerdo Ministerial 097A y en la Ordenanza municipal 0136 NT002 no establecen un límite máximo permisible para la descarga en el alcantarillado, pero el límite máximo permisible en la categoría de consumo en el Acuerdo Ministerial 097A es de 100 UNT. Las muestras 2 y 4 antes de la inoculación y la muestra 3 después de la inoculación presentan valores por debajo de los 100 UNT; en los límites máximos del Acuerdo Ministerial 097A, pero las demás muestras presentan valores fuera de lo permitido.

- **Oxígeno disuelto**

Los resultados promediales antes y después de la inoculación del coctel de bacterias, se encuentran entre 0 y 1 mg/L por debajo de los límites máximos permisibles en el Acuerdo Ministerial 097A para riego agrícola de 3 mg/L y en la Ordenanza municipal 0136 NT002 de 60 mg/L.

- **Demanda Química de Oxígeno**

Las muestras presentan resultados por debajo de los 4500 mg/L. El límite máximo permisible para la descarga en el sistema de alcantarillado en el Acuerdo Ministerial 097A es de 500 mg/L y en la Ordenanza municipal 0136 NT002 es de 350 mg/L. Las muestras 2 y 3 antes de ser inoculadas

y las muestras 1 y 4 después, presentan valores por encima de lo permitido en la legislación ambiental.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Los resultados de las muestras presentan valores por debajo de los 100mg/L y la legislación ambiental decreta los límites máximos permisibles para la descarga en el sistema de alcantarillado en el Acuerdo Ministerial 097A de 250 mg/L y en la Ordenanza municipal 0136 NT002 de 170 mg/L, todas las muestras están dentro de lo permitido.

- **Nitratos**

Los valores de las muestras están por debajo de los 30 mg/L y la legislación ambiental declara límites máximos permisibles en el Acuerdo Ministerial 097A para la descarga para agua marina y estuario de 200 mg/L, todas las muestras están por debajo de lo decretado.

- **Fosfatos**

La legislación ambiental del país como el Acuerdo Ministerial 097A y la Ordenanza municipal 0136 NT002 no establecen límites máximos permisibles para los fosfatos entonces se tomó en consideración la legislación ambiental de Costa Rica mediante de acuerdo al Reglamento para la Calidad del Agua Potable N.º 38924-S, donde se estima el valor alerta para sulfatos en 25 mg/L. Los resultados de las muestras están por debajo de los 3 mg/L, todos los valores están dentro de lo que rige esta normativa.

4.7.Discusión

Dentro de los porcentajes de remoción en el reactor biológico antes y después de la aplicación de microorganismos de la marca AC MICRO en la PTAR CMQ se evidenció diferencia entre los resultados de los parámetros evaluados:

Los valores promediales de pH antes de la aplicación de los microorganismos tomadas en la entrada del reactor fue de 7.67 y en la salida de 6.74, después de la aplicación, en la entrada del reactor se obtuvo un pH de 8.09 y en la salida de 7.96 en este último se evidenció valores de pH más altos, sin embargo estos resultados están dentro de los límites máximos permisibles entre 6-9 de acuerdo a la Ordenanza municipal 0136 NT002 para descargas líquidas al cuerpo receptor (Greensafe, 2021).

El pH es importante para la supervivencia de microorganismos ya que al tener un pH menor entre 5.5-5.9 o 8.1-8.5 solo ciertos organismos podrían soportar esos niveles y con valores entre 6.0-6.4 ó 7.6-8.0 las condiciones del agua serían buenas para la supervivencia de organismos (Universidad Complutense de Madrid, 2015). Entonces los valores después de adicionar tomadas en la entrada del reactor biológico serían las adecuadas para la supervivencia y desarrollo de microorganismos.

Los valores promedios de DQO antes de la adición de microorganismos fue de 70.64% y después de 75.34%, en la investigación de Castro et. al. (2019) con un reactor AUSB se obtuvo resultados de eficiencia en un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 14 horas de 32.44% y 76.90% en un TRH de 12 horas de 31.72% a 42.20%. En cambio, en la investigación de Carrasquero y otros (Car14) con un reactor con secuencia operacional anaeróbico/aeróbica/anóxica se obtuvo la eficiencia en un TRH de 10 horas de 89% y de 12 horas de 90%. Castro et al. (2019) señalan que la baja eficiencia puede deberse al efecto de las bajas temperaturas y que el TRH que se opera es muy breve como para permitir un apropiado tiempo de contacto entre la materia orgánica y los microorganismos.

Los porcentajes de remoción del fosfato antes de la adición fue de 12.3% y después de 39.69%. Reyes et. al. (2011) argumentan que los valores que se obtienen de fósforo indican disminución o

aumento de este elemento en forma de fosfatos por ende en el estudio de Carrasquero et al. (Car14) se tuvo valores de eficiencia de remoción del fosforo en un TRH de 10 horas de 35% y en 12 horas de 56%, determinaron que al contar con una fase aeróbica más prolongada, mayor es el consumo de fosfato, y por consiguiente la remoción de fósforo.

Moeller y Tomasini (2010) recalcan que los microorganismos inoculados realizan la acción de acumular fosfatos y posteriormente eliminarlos en el agua.

En cuanto a la turbidez se encontraron porcentajes de remoción antes de la adición de 72.93% y después de 73.23%. En la investigación de Carrasquero et al. (Car14) se obtuvo porcentajes de remoción en un TRH de 10 horas de 73% y en un TRH de 12 horas de 85%, además menciona que en el caso del trabajo de López et al. (2008) se registraron porcentajes de remoción de turbiedad aproximadamente de 80% con un pH ácido, y se demostró que, a menor valor de pH, mayor es la remoción de estos parámetros. En esta investigación se determinó mejores porcentajes de remoción después de inocular debido a que el efluente presentó variaciones inconsistentes de contenido ruminal como: vísceras de porcinos, ovinos y bovinos debido a las descargas acumuladas del proceso de faenamiento comúnmente los días martes, jueves y viernes. Como lo recalca la Universidad Complutense de Madrid (2015) que el aumento de la turbiedad puede verse afectado por partículas vivas que residen en el agua como también materiales originarios de la descomposición de los seres vivos, hojas, ramas, etc. Por todo ello la turbidez aumento al adicionar los microorganismos.

Los porcentajes de remoción de oxígeno disuelto antes de la inoculación fue de 69.03% y después 69.66%, al existir un aumento en el porcentaje indica que la concentración disminuyo en el agua residual al adicionar los microrganismos debido al aumento en la cantidad de materia

orgánica; según Raffo y Ruiz (2014) esto ocasiona que a “mayor cantidad de materia orgánica más cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla o degradarla” (p.75).

Los porcentajes de remoción de DBO_5 , antes de inocular fue de 72.99% y después de 46.89%, Por ende, los porcentajes de estos parámetros son mayores antes de al adicionar los microorganismos porque al no disminuir los valores de salida en base al valor de entrada se obtuvieron porcentajes menores en tal caso aumentó la necesidad de oxígeno por parte de los microorganismos. Por otro lado, se obtuvo mejores valores de eficiencia DBO_5 cuando se utiliza tratamiento combinados como en las investigaciones de Carrasquero et al. (Car14) que usa una secuencia operacional anaeróbica-aeróbica-anóxica y se obtuvo eficiencias de remoción de 84 y 85%, con THR de 10 y 12 horas, respectivamente. En el caso de López et al. (2008) se “obtuvieron porcentajes de remoción entre 92%, 96% y 97%, luego de haber aplicado tratamientos biológicos combinados (anaeróbico + aeróbico)”.

Los porcentajes de remoción de nitratos antes de aplicar los microorganismos fue de 20.71% y después fue de 25.08%. Con respecto a la remoción de nitrógeno total NT ($\text{NTK} + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) de la investigación de Carrasquero et al. (Car14) se obtuvo un 71% en un TRH de 12 horas y 68% en 14 horas además en la investigación de Pérez et al. (2002) se obtuvo porcentajes de remoción de NT que se están entre 29 y 52%, específicamente los iones NO_2^- y NO_3^- se redujeron durante la primera fase anóxica y concluyeron que el alargamiento de la fase aeróbica favorece el proceso de nitrificación, debido al aumento del tiempo de retención celular aeróbico del sistema que origina un aumento en la población de microorganismos autótrofos con un metabolismo aeróbico estricto (citado en Carrasquero et al., 2014).

Pire ultimó que los porcentajes de remoción bajos puede atribuirse a que el efluente tiene una composición mucho más compleja, o sea altas concentraciones de materia orgánica, elevadas

concentraciones de nitrógeno orgánico y amoniacal, que provienen de las sales de amonio que se añaden durante el proceso de pelambre; además de la presencia de compuestos inorgánicos, tales como sulfuros y cloruros, que son adicionados durante el proceso de limpieza y acondicionamiento de las pieles, lo que limita la eliminación biológica del nitrógeno (citado en Carrasquero et al., 2014). Durai y Rajasimman (2011) dedujeron que un proceso de predesnitrificación/nitrificación es más eficaz para la remoción simultánea de nitrógeno y materia orgánica. (citado en Carrasquero et al., 2014).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Dentro del análisis estadístico con la prueba de Fligner-Kileen se consiguió resultados importantes de los porcentajes de remoción de los parámetros físico químicos. Se obtuvo un aumento en sus porcentajes después de adicionar AC-MICRO en los parámetros de OD de 69.03% a 69.66%, en turbidez de 72.93% a 73.23% incrementándose 0.3%, en la DQO de 70.64% a 75.34% se incrementó 4.7%, el nitrato de 20.71 a 25.08%. incrementándose 4.37%. el fosfato de 12.30% a 39.69% el aumento fue de 27.39% y en los fosfatos de 12.3% a 39.69% con un aumento de 27.39%. Por otro lado, se evidenció una disminución en los porcentajes de la DBO₅ de 50.09% a 48.66% con una disminución de 1.43% esto se debió al aumento del consumo de oxígeno por parte de los microorganismos identificados como *Paramecium caudatum*, en este estudio.
- Dentro del análisis se obtuvo valores promediales de pH antes de la adición en la entrada del reactor de 7.67 y en la salida de 6.74 y después en la entrada de 8.09 y en la salida de 7.96 en ambos casos hubo una reducción de 0.13 y 0.93, respectivamente. Estos valores de pH están dentro del rango idóneo que permiten la supervivencia y desarrollo de los microorganismos. En cuanto al IVL tanto antes como después de la inoculación se presenta una excelente caracterización de compactación y sedimentación de los lodos.
- Se ha podido establecer, un costo por m³ de agua tratada realizando un cálculo en base a las 5 inoculaciones que resulto un valor bajo de $0.009 \frac{\$}{m^3}$, mientras que el costo anual fue de $162 \frac{\$}{mes}$ considerándose es asequible para una empresa pública como la del Camal Metropolitano de Quito.

- Con respecto al cumplimiento de la legislación ambiental en el Ecuador se ha podido establecer que los valores de las muestras tomadas antes y después de la inoculación: en su totalidad se confirma el cumplimiento en los parámetros OD, DBO₅, nitratos, fosfatos y SST. En cuanto al pH, turbidez y DQO se presentaron en su mayoría resultados por encima de los límites normados y que lo más favorable sería adicionar otro tratamiento posterior al reactor para obtener valores dentro de lo establecido en la normativa ambiental.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda realizar un diagnóstico actual estado del equipo del Reactor biológico del Camal Metropolitano de Quito.
- Se recomienda realizar la repotenciación del reactor biológico del Camal Metropolitano para aumentar la degradabilidad de la materia orgánica ya que presenta fallas en la depuración en su estado actual.
- Se recomienda construir una Planta Piloto de mayores dimensiones elaborado de carriers y sistemas de aireación de burbuja fina y recirculación para un acondicionamiento de bacterias óptimo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaomega. (21 de agosto de 2021). *Pruebas no paramétricas*. Obtenido de <https://libroweb.alfaomega.com.mx/book/868/free/data/cap12.pdf>
- Amat, J. (Enero de 2016). *Análisis de la homogeneidad de varianza (homocedasticidad)*. Obtenido de [https://rpubs.com/Joaquin_AR/218466#:~:text=~%20iris%24Species\)-,Test%20de%20Fligner%2DKilleen,de%20normalidad%20en%20las%20muestras](https://rpubs.com/Joaquin_AR/218466#:~:text=~%20iris%24Species)-,Test%20de%20Fligner%2DKilleen,de%20normalidad%20en%20las%20muestras).
- Amat, J. (Julio de 2017). *Test de Wilcoxon Mann Whitney como alternativa al t-test*. Recuperado el 15 de Julio de 2021, de https://www.cienciadedatos.net/documentos/17_mann%E2%80%93whitney_u_test
- Bakieva, M., González-Such, J., & Jornet, J. (2012). *SPSS: ANOVA de un Factor*. Grupo de Innovación Educativa Innovamide. Obtenido de https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0702b.pdf
- Bertola, N., Bevilacqua, A., & Contreras, E. (2007). *Análisis de reactores biológicos* (Primera ed.). ResearchGate .
- Boyd, C. (2017). *La cal desempeña un papel crucial en el manejo de estanques acuícolas*. Global Aquaculture. Obtenido de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/la-cal-desempena-un-papel-crucial-en-el-manejo-de-estanques-acuicolas/>
- Buitrón, G., Carrera, J., & Reino, C. (2019). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales*. PROGRAMA CYTED.

Obtenido de
http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf

Cárdenas, G., & Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *REVISTA UNIVERSIDAD Y SALUD*, 15(1), 72-88.

Carollo, C. (2012). *Shapiro test*. Obtenido de
http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140117_P_contraste_hip%C3%B3tesis%202011_12.pdf

Carrasquero, S., Matos, E., Saras, F., Pire, M., Colina, G., & Díaz, A. (2014). Evaluación de la eficiencia de un reactor por carga secuencial tratando aguas residuales provenientes de un matadero de reses. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 29(3), 7-16. Recuperado el 2021 de Julio de 6, de
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000300002

Castillo, E. R., Bolio, A., Méndez, R. I., & Osorio, J. H. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ingeniería*, 16(2), 83-91. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46725067001>.

Castro, J., Cabrera, J., Gonzales, T., & Sumarriva, L. (2019). REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE HUANCAVELICA. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 362-375. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a08v85n3.pdf>

Chango, E., & Simbaña, I. (2016). *EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL METROPOLITANO DE QUITO Y PROPUESTA DE MEJORA [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]*. Repositorio Digital - Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6602>

Crawley, M. (2013). *The R Book* (Segunda ed.). John Wiley & Sons Ltd. Obtenido de <https://www.cs.upc.edu/~robert/teaching/estadistica/TheRBook.pdf>

Dietrichson, A. (22 de Junio de 2019). *Métodos Cuantitativos*. Obtenido de <https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/>

Empresa Pública Metropolitana de Rastro . (2020b). *Proceso de Faenamiento de Bovinos*. Recuperado el 3 de Junio de 2021, de <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/servicios/faenamiento/faenamiento-bovinos/faenamiento-porcinos-2>

Empresa Pública Metropolitana de Rastro . (2020c). *Proceso de Faenamiento de Ovinos*. Recuperado el 03 de Junio de 2021, de <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/servicios/faenamiento/faenamiento-bovinos/faenamiento-porcinos-3>

Empresa Pública Metropolitana de Rastro. (2020). *Institución Empresa Pública Metropolitana de Rastro*. Recuperado el 3 de Junio de 2021, de Empresa Pública Metropolitana de Rastro: <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/nosotros/nosotros/mision-2>

Empresa Pública Metropolitana de Rastro. (2020). *Institución Empresa Pública Metropolitana de Rastro*. Recuperado el 3 de Junio de 2021, de Empresa Pública Metropolitana de Rastro: <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/nosotros/nosotros/mision-2>

Empresa Pública Metropolitana de Rastro. (2020d). *Proceso de Faenamiento de Porcinos*. Recuperado el 3 de Junio de 2021, de <http://www.epmrq.gob.ec/index.php/servicios/faenamiento/faenamiento-bovinos/faenamiento-porcinos-4>

Espigares, M., & Pérez, J. (2003). *Aguas Residuales Composición [Archivo de word]*. Obtenido de CIDTA-Universidad de Salamanca: https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Fernandez, R. (2015). *Pretratamientos/Aguas*. Escuela de Organizacion Industrial.

Ferrara-Giner, G., & Ramírez, A. (2013). Análisis de la sedimentabilidad de los lodos biológicos producidos en un RCS durante la desnitrificación de un efluente de un biorreactor de crecimiento adherido. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 28(1). Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652013000100005

FILTEC. (2 de Noviembre de 2014). *BACTERIAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. CONCEPTOS GENERALES [Blog]*. Obtenido de https://www.depuradoras.es/blog/248_bacterias-para-tratamiento-de-aguas-residuale

- Flores, M. (26 de Abril de 2015). *Prueba de homogeneidad de varianza*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2021, de <https://es.slideshare.net/rfmflores/prueba-de-homogeneidad-de-varianza>
- Fuentes, R., Ramos, J. J., & Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n3/v31n3a5.pdf>
- García, M., & Ortiz, A. (2017). *UNA NUEVA PRUEBA PARA EL PROBLEMA DE IGUALDAD DE VARIANZAS [Tesis de Grado]*. Universidad Santo Tomás.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2015). *Manual de operación de la planta de Tratamiento para aguas residuales PTAR*. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. Obtenido de <http://www.ruminahui-aseo.gob.ec/periodo2015/documentos/ptar.pdf>
- González, E., Oria, L., Moriña, N., Salas, M., & Gamero, C. (2008). *Guía Metodológica para la elaboración de análisis microbiológicos de fangos activados de E.D.AR*. Grupo Sevilla.
- González, M. (2015). *Estandarización de las Metodologías para el Análisis de pH, Alcalinidad y Turbidez en Muestras de Agua Potable en el Laboratorio de la Asociación Municipal de Acueductos Comunitarios de Dosquebradas (AMAC) [Tesis pregrado, Universidad Tecnológica Pereira]*. CORE: agregación de los trabajos de investigación de acceso abierto del mundo. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71398369.pdf>

Graf. (29 de septiembre de 2021). *Agua industrial*. Obtenido de <https://www.grafiberica.com/depositos-soterrados/como-recuperar-agua-de-lluvia/lexico/agua-industrial.html>

Greensafe. (22 de noviembre de 2021). *Norma Técnica para Control de Descargas Líquidas*. Obtenido de <http://greensafe.com.ec/normasTecnicas/7.-NT002%20Control%20de%20descargas%20l%C3%ADquidas.pdf>

Hanna Instruments. (26 de Abril de 2019). *Turbidez: importancia del parámetro y como es la Técnica Instrumental relacionada*. Recuperado el 21 de Julio de 2021, de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/turbidez-importancia-del-parametro-y-como-es-la-tecnica-instrumental-relacionada>

IDEAM. (10 de septiembre de 2017). *INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

Instituto Geológico Minero de España. (2016). Contaminación del Agua. En *Educación Ambiental* (págs. 35-46). Instituto Geológico Minero de España.

Jimenez, N. (2014). *Diseño de un reactor biológico de fangos activos [Tesis de pregrado]*. Universidad de Almería. Repositorio Institucional de la UAL. Obtenido de http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3717/2111_Disen%C3%B3%20de%20un%20reactor%20biol%C3%B3gico%20de%20fangos%20activos.pdf?sequenc

Knobelsdorf, M. (2005). *Eliminación Biológica de Nutrientes en un ARU de baja carga orgánica mediante el proceso VIP*. Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/01Mjkm01de18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lenntech Water Treatment. (s.f.). *Turbidez*. Obtenido de Lenntech Water Treatment solutions: <https://www.lenntech.es/turbidez.htm#:~:text=La%20turbidez%20se%20mide%20en,de%20una%20muestra%20de%20agua.&text=Esto%20proporciona%20una%20estimaci%C3%B3n%20del%20nivel%20de%20turbidez%20en%20el%20lago>.

Lluma, J., & Mendoza, I. (2016). *EVALUACIÓN HIDRÁULICO – SANITARIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL METROPOLITANO DE QUITO [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]*. Repositorio Digital - Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6934>

Llumiquinga, Y., & Parra, F. (2018). *Estudio piloto para la potabilización de lodos generados en la planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Metropolitano de Quito mediante Vermicompostaje [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Salesiana]*.

Madoni, P. (1993). A Sludge Biotic Index (SBI) for the Evaluation of the Biological Performance of Activated Sludge Plants Based on the Microfauna Analysis. 28(1), 67-75. Obtenido de [https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250655/2014/Madoni,%201994%20\(SBI\).pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250655/2014/Madoni,%201994%20(SBI).pdf)

- Mayari, R., Espinoza, M., & Gutiérrez, J. (2005). Validación de La Determinación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y. *CENIC Ciencias Químicas*, 36. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511015.pdf>
- Metcalf y Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización* (Tercera ed., Vol. 1). Wastewater Engineering.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (4 de Noviembre de 2015). *Acuerdo Ministerial N° 097A TULSMA Libro VI Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (13 de Febrero de 2015). *Acuerdo Ministerial No.028 Sustituyese el libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155123.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2020). *CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)(COMO C TOTAL O DQO/3)*. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <https://prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html>
- Moeller, G., & Tomasini, A. (2010). *Microbiología de Lodos Activados*. IDEAM.
- Molina, S. (2010). *Estandarización de Métodos de Análisis para la Determinación de Nitratos, Nitritos, Compuestos Fenólicos y, Aceites y Grasas utilizados como Indicadores de Contaminación de Aguas Naturales y Residuales Industriales [Tesis pregrado]*.

BIBLIOTECA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/134930.pdf>

Muñoz, A. (2008). *Caracterización y Tratamiento de aguas residuales [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.]*. UAEH Biblioteca Digital Principal. Obtenido de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/Caracterizacion%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf;jsessionid=AAF51F1E6B684DF5017B23AA80C672E9?sequence=1>

Ochoa, L. (2019). *Utilización de Paramecium caudatum en el control de la eutrofización del agua en el distrito de Sapallanga - Junín 2019*. Universidad Continental. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7131/2/IV_FIN_107_TE_Ochoa_Altamirano_2019.pdf

Parada, L. (23 de Junio de 2019). *PRUEBA DE NORMALIDAD DE SHAPIRO-WILK*. Recuperado el 15 de Julio de 2021, de <https://rpubs.com/F3rnando/507482>

Peña, G., Cuesta, F., & Betancur, J. (2015). Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, VI(2), 157-168. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5628789.pdf>

Puente, C. (18 de febrero de 2015). *La mayor contaminación en ríos y quebradas está en 8 sitios del sur*. Obtenido de El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/quito-contaminacion-rios-aguas-residuales.html>.

- Putz, P. (2008). *Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso-Nutrientes-Fosfato*. HACH LANGE. Obtenido de https://www.interempresas.net/feriavirtual/catalogos_y_documentos/87050/fosfatos.pdf
- Queralt, G. (2017). *DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIADO (Q A.R= 9000 m³/d) PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE FANGOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN DESACOPLADOR METABÓLICO [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]*. RiuNet repositorio UPV. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77405/151216_TFM_FARRAS%20GENTO%20QUERALT_1481795528107417457534161014436.pdf?sequence=3
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Redalyc*, 17(1), 71-80. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramos, J. (2019). Medición en línea de la DQO mediante correlación del coeficiente de absorción espectral de luz. *REVISTA PRODUCCIÓN + LIMPIA*, XIII(2), 67-76. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v13n2/1909-0455-pml-13-02-00067.pdf>
- Reyes, M., Guido, A., Carrillo, S., & Durán, C. (2011). Remoción de Fósforo en un Sistema de Humedales Artificiales a Escala de Laboratorio. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador*, 2(1), 25-32.
- Romero, J. (2010). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEORÍA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO* (Tercera ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Secretaría de Ambiente de Quito . (6 de Enero de 2014). *NORMA TÉCNICA PARA CONTROL DE DESCARGAS LÍQUIDAS (NT002)* . Obtenido de GreenSafe Consulting:

<http://greensafe.com.ec/normasTecnicas/7.->

NT002%20Control%20de%20descargas%20l%20C3%ADquidas.pdf

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial de México. (2000). *NORMA MEXICANA NMX-AA-034-1981: ANALISIS DE AGUA.- DETERMINACION DE SOLIDOS*. Obtenido de <https://aniq.org.mx/pqta/pdf/nmx-aa-fisicos.pdf>

Solís, J. (2011). *Diseño de las condiciones óptimas de funcionamiento y tratamiento del residuo de la Planta de Lodos Activados del Instituto Tecnológico de de Costa Rica [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]*. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3019/Informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Standar Methods. (2017). *Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales*. Obtenido de <https://www.standardmethods.org/doi/full/10.2105/SMWW.2882.030>

TECNAL. (15 de Febrero de 2021). *DQO vs DBO*. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de https://tecnal.com.br/es/blog/215_dqo_vs_dbo

Universidad Complutense de Madrid. (14 de Febrero de 2015). *Descripción de indicadores*. Recuperado el 21 de Julio de 2021, de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-turbidez%20f.pdf>

Universidad Complutense de Madrid. (14 de Febrero de 2015). *DESCRIPCIÓN DE INDICADORES*. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-pH%20f.pdf>

VIALTEC. (2016). *Ficha Técnica AC-MICRO INDUSTRIAL*.

Villacís, R. (2005). *La crisis del oro azul: Un análisis de la sustentabilidad del agua en la ciudad de Quito [Tesis de Maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO)]*.

Repositorio Digital FLACSO Ecuador - FLACSO Andes. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/269/4/TFLACSO-01-2005BAVC.pdf>

Water Boards. (29 de Octubre de 2013). *Recursos para Agricultores Nitrato en el Agua Potable [Archivo de word]*. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de Water Boards: https://www.waterboards.ca.gov/centralcoast/water_issues/programs/ag_waivers/docs/spanish_forms/nitratos_en_el_agua.pdf

7. ANEXOS

Anexo 1 Descripción de la bacteria *Paramecium caudatum*

		HOLOTRICOS
		Organismo: <i>Paramecium caudatum</i> . 400x . Campo claro. <i>In vivo</i>
CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS		
GRUPO. Protozoo Ciliophora		CLASE. Oligohymenophora (Hymenostomatia)
ORDEN. Hymenostomatida (Periculinia)		FAMILIA. Parameciidae
GÉNERO. <i>Paramecium</i> .		ESPECIE. <i>Paramecium caudatum</i> .
CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES		
FORMA CORPORAL. Forma esbelta, alargada con extremo posterior fusiforme		MOVIMIENTOS LOCOMOTORES. Nadador, trayectorias helicoidales.
ESTRUCTURAS ESPECIALIZADAS. dos vacuolas pulsátiles estrelladas, cilios alargados en extremo posterior; macronúcleo y micronúcleo		CLAVE IDENTIFICATIVA. Depresión que se entiende desde el extremo anterior hasta el vestíbulo oral, extremo posterior fusiforme.
TAMAÑO. 180-300 µm		
CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS		
ALIMENTACIÓN. Bacteriófago.		
PARÁMETROS BIOINDICADORES ASOCIADOS. Presencia esporádica en hongos en formación, con carga alta y buena oxigenación.		

Nota. En esta imagen se enlista las características más relevantes de la bacteria *Paramecium candatum*

Anexo 2 Muestras entrada y salida de reactor biológico



Nota. Estas fotografías fueron captadas cuando se tomaron se tomaron las muestras de agua residual en el reactor biológico

Anexo 3 Análisis físicos y químicos de las muestras de agua residual del reactor biológico en el laboratorio.



Nota. Estas fotografías fueron tomadas en el laboratorio de la UPS-Sede Quito Sur cuando se realizaba el análisis físico químico de los parámetros de calidad de las muestras de agua residual.

Anexo 4 Análisis físico del agua residuales del reactor biológico en la PTAR-CMQ



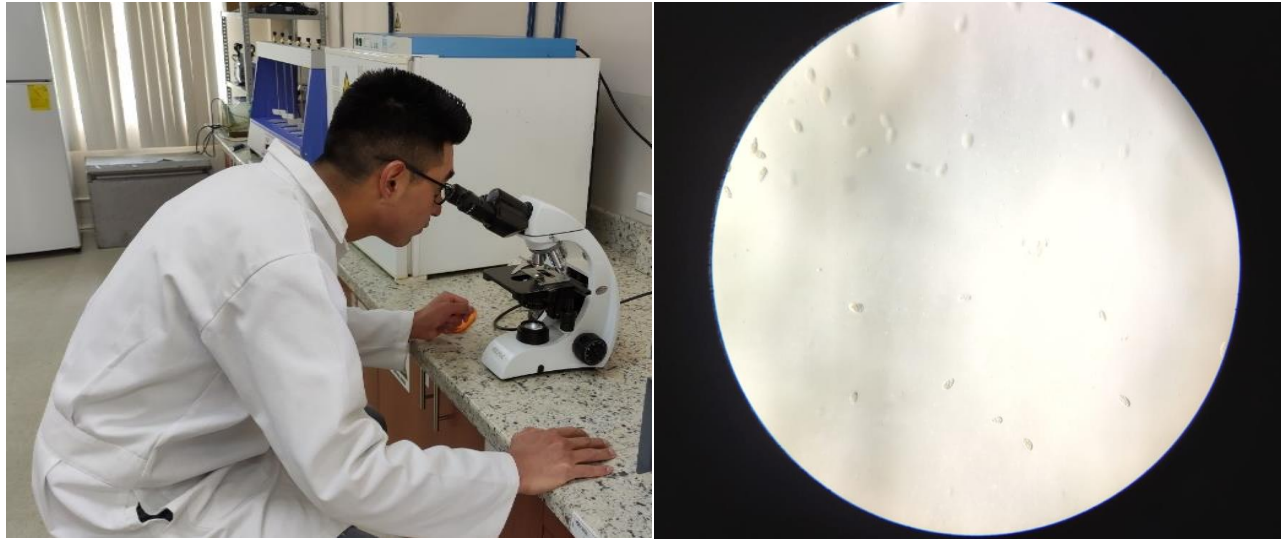
Nota. Estas fotografías fueron captadas cuando se realiza el análisis de los parámetros físico del agua residual del reactor biológico en la PTAR CMQ

Anexo 5 Planta piloto de reactor biológico de mezcla completa y acondicionamiento de microorganismos



Nota. En estas fotografías se observa la toma de muestra de agua residual y lodo del reactor para la planta piloto de reactor biológico de mezcla completa y el procedimiento que se llevó a cabo para el acondicionamiento de microorganismos de la marca AC-MICRO.

Anexo 6 Visualización e identificación de los microorganismos mediante un microscopio



Nota. Estas fotografías se captaron cuando se observa mediante el microscopio los microorganismos presentes en el coctel de bacterias preparado en la planta piloto

Anexo 7 Inoculación de microorganismos



Nota. Estas fotografías se captaron cuando se adicionó el coctel de bacterias de la marca AC-MICRO en el reactro biológico de la PTAR- CMQ

Anexo 8

Código de Shapiro y test de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de turbidez.

```
#sin microorganismos
library(readxl)
ResultadosB1 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosB1.xlsx")
View(ResultadosB1)

##Primera prueba
shapiro.test(ResultadosB1$Turbidez)

#Con microorganismos
library(readxl)
ResultadosB2 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosB2.xlsx")
View(ResultadosB2)

##Primera prueba
shapiro.test(ResultadosB2$Turbidez)
```

Nota. En esta imagen se describe el código del test de Shapiro de la prueba de normalidad del parámetro de turbidez capturado del software RStudio

Anexo 9

Código de Shapiro test de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de OD, tomado del software RStudio

```
#Con microorganismos
library(readxl)
ResultadosC1 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosC1.xlsx")
View(ResultadosC1)

##Primera prueba
shapiro.test(ResultadosC1$OD)

#sin microorganismos
library(readxl)
ResultadosC2 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosC2.xlsx")
View(ResultadosC2)

##Primera prueba
shapiro.test(ResultadosC2$OD)
```

Nota. En esta imagen se describe el código del test de Shapiro de la prueba de normalidad del parámetro de oxígeno disuelto capturado del software RStudio

Anexo 10

Código de Shapiro test de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de DQO

```
#Con microorganismos
library(readxl)
ResultadosD1 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosD1.xlsx")
View(ResultadosD1)

##Primera prueba
shapiro.test(ResultadosD1$DQO)

#sin microorganismos
library(readxl)
ResultadosD3 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosD3.xlsx")
View(ResultadosD3)

##Primera prueba
shapiro.test(ResultadosD3$DQO)
```

Nota. En esta imagen se describe el código del test de Shapiro de la prueba de normalidad del parámetro DQO capturado del software RStudio

Anexo 11

Código de Shapiro test de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de nitratos

```
#Con microorganismos
library(readxl)
ResultadosE1 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosE1.xlsx")
View(ResultadosE1)

#Primera prueba
shapiro.test(ResultadosE1$Nitratos)

#sin microorganismos
library(readxl)
ResultadosE2 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosE2.xlsx")
View(ResultadosE2)

#Primera prueba
shapiro.test(ResultadosE2$Nitratos)
```

Nota. En esta imagen se describe el código del test de Shapiro de la prueba de normalidad del parámetro nitrato tomado del programa RStudio

Anexo 12

Código de Shapiro test de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de fosfatos

```
#Con microorganismos
library(readxl)
ResultadosF1 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosF1.xlsx")
View(ResultadosF1)

#primera prueba
shapiro.test(ResultadosF1$Fosfatos)

#Sin microorganismos
library(readxl)
ResultadosF2 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosF2.xlsx")
View(ResultadosF2)

#Primera prueba
shapiro.test(ResultadosF2$Fosfatos)
```

Nota. En esta imagen se describe el código del test de Shapiro de la prueba de normalidad del parámetro fosfato desplegado del programa RStudio

Anexo 13

Código de Shapiro test de prueba de normalidad de resultados de porcentaje de remoción de DBO_5

```
#Con microorganismos
library(readxl)
ResultadosG1 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosG1.xlsx")
View(ResultadosG1)

#Primera prueba
shapiro.test(ResultadosG1$DBO5)

#Sin microorganismos
library(readxl)
ResultadosG2 <- read_excel("C:/Users/LENOVO/Desktop/DatosR/ResultadosG2.xlsx")
View(ResultadosG2)

#Primera prueba
shapiro.test(ResultadosG2$DBO5)
```

Nota. En esta imagen se describe el código del test de Shapiro de la prueba de normalidad del parámetro DBO_5 que se visualiza o del programa RStudio